



2

SERIE VI

2023

MEMORIE

DELL'ACCADEMIA
DELLE SCIENZE
DI TORINO



SERIE VI — 2 — 2023

MEMORIE

DELL'ACCADEMIA
DELLE SCIENZE
DI TORINO



Accademia
delle Scienze
di Torino

1783

2024 – ACCADEMIA DELLE SCIENZE DI TORINO

Via Accademia delle Scienze, 6 – 10123 Torino, Italia

Uffici: Via Maria Vittoria, 3 – 10123 Torino, Italia

+39-011-562.00.47

info@accademiadelle scienze.it

www.accademiadelle scienze.it

Direttore: Massimo Mori

Comitato editoriale (a.a. 2022-2023): Mario Alberto Chiorino, Franco Pastrone, Alberto Piazza (per la Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali); Gastone Cottino^{*}, Maria Luisa Doglio, Alessandro Roccati (per la Classe di Scienze morali, storiche e filologiche).

Commissione Pubblicazioni (triennio 2021-2024): Gian Franco Gianotti (Presidente); Mauro Anselmino, Marco Filippi, Fausto Gorla, Pier Paolo Portinaro.

I contributi pubblicati nelle «Memorie dell'Accademia delle Scienze di Torino» sono disponibili in rete ad accesso aperto e sono valutati dal Comitato editoriale e da *referees* anonimi attraverso un sistema di *peer review*.

Le «Memorie» sono pubblicate con periodicità annuale: il presente numero è uscito nel 2024 ed è relativo all'a.a. 2022-2023.

La Carta d'Intenti e il Codice Etico sono disponibili nel sito www.accademiadelle scienze.it

Redazione editoriale: Maria Filippi
pubblicazioni@accademiadelle scienze.it

Le vendite sono effettuate presso la Libreria Oolp
Via Maria Vittoria, 36 – 10123 Torino, Italia
+39-011-812.27.82
info@libreriaoolp.it

ISSN: 2974-8291 (print)

ISSN: 2974-9913 (online)

CLASSE DI SCIENZE FISICHE, MATEMATICHE
E NATURALI

Cybersecurity per Internet of Things e infrastrutture critiche

EDOARDO CALIA **, MARCO MEZZALAMA * e ANDREA VESCO **

Conferenza tenuta dal Socio nazionale Marco Mezzalama
nell'adunanza del 13 aprile 2022, testo ricevuto il 19 maggio 2023,
approvato come memoria nell'adunanza del 7 giugno 2023,
online dal 3 ottobre 2023

Abstract. *This paper addresses the issue of cybersecurity of smart objects (generally referred to as IoTs), with a focus on issues related to industrial facilities monitored and controlled by such IoTs. After discussing some real-world cases where serious problems have occurred due to unauthorized, if not criminal, intrusions into industrial facilities, the paper reviews techniques that can be adopted to prevent or at least reduce the possibility of intrusion and/or tampering into IoT systems for monitoring critical infrastructure and complex business systems.*

KEYWORDS: cybersecurity, identity, integrity, IoT, security of industrial facilities.

Riassunto. *Il presente articolo intende affrontare il tema della sicurezza informatica degli oggetti intelligenti (in generale indicati come IoT), con particolare riguardo alle problematiche legate agli impianti industriali da questi ultimi monitorati e controllati. Dopo la discussione di una serie di casi in cui si sono verificate grandi problematiche a causa dell'intrusione non autorizzata, se non criminale, a impianti industriali, l'articolo passa in rassegna le tecniche che possono essere adottare per eliminare o per lo meno ridurre la possibilità di intrusione e/o manomissione su sistemi IoT per il controllo di infrastrutture critiche e sistemi aziendali complessi.*

PAROLE CHIAVE: identità, integrità, IoT, sicurezza delle infrastrutture industriali, sicurezza informatica.

* Accademia delle Scienze, Politecnico di Torino, Fondazione Links; marco.mezzalama@polito.it

** Fondazione Links; edoardo.calia@linksfoundation.com; andrea.vesco@linksfoundation.com

Introduzione

L'evoluzione tecnologica nei settori dell'elettronica e delle telecomunicazioni ha favorito nei due decenni passati la diffusione di oggetti dotati di capacità di calcolo e di trasmissione dati: si tratta di fatto di piccoli elaboratori, simili – dal punto di vista dell'architettura interna – ai computer che siamo abituati ad utilizzare quotidianamente, anche se normalmente privi dei classici strumenti di interazione con gli utenti quali monitor, mouse, tastiera.

Questi oggetti *intelligenti e connessi* risultano molto utili nella gestione delle attività quotidiane: da quelle più semplici e personali (si pensi agli smart watch, alle videocamere di sorveglianza domestica, ai cosiddetti *home assistant*, e ovviamente agli smartphone) fino a quelle professionali – e in alcuni casi critiche per ragioni di sicurezza – quali il controllo di impianti, di centrali elettriche, infrastrutture stradali, il controllo accessi. La dotazione di oggetti smart consente infatti di poter *osservare*, e in alcuni casi *controllare*, quanto avviene nelle nostre case, nei nostri uffici, nelle nostre aziende, nelle nostre città. È il mondo della cosiddetta *Internet of Things (IoT)*, la *rete degli oggetti*.

Questi dispositivi sono al centro della silenziosa ma inesorabile trasformazione digitale del mondo nel quale viviamo in un mondo intelligente: una rivoluzione destinata ad avere un impatto sulla nostra vita analogo a quelli portati dalla introduzione dell'energia elettrica, dei motori elettrici e termici, e più recentemente della rete Internet.

Il mondo che stiamo rapidamente costruendo è quindi un mondo nel quale, grazie alle tecnologie di calcolo e di connessione, è possibile collegarsi da qualsiasi luogo ad uno o più di questi oggetti connessi, per controllare, ad esempio, la temperatura del nostro alloggio ed eventualmente accendere il riscaldamento prima di arrivare a casa oppure per regolare le paratoie di una diga per aumentare o diminuire il flusso di scarico di un bacino idrico.

Gli esempi precedenti di applicazioni rese possibili da questi sofisticati oggetti intelligenti evidenziano un'altra delle loro caratteristiche peculiari che li differenziano dagli elaboratori tradizionali: la stretta connessione con il mondo fisico, che si manifesta nella possibilità di attivare sistemi robotici e meccanici completando azioni anche al di fuori del mondo digitale. Questa caratteristica conferisce agli impianti e ai sistemi dotati di intelligenza e connettività grazie alla presenza di questi *smart object* un nuovo nome: quello di *Sistemi Cyber-Fisici*, o *Cyber-Physical Systems*.

In questo articolo vogliamo evidenziare alcune possibili criticità che derivano dalla presenza di oggetti intelligenti all'interno della architettura di infrastrutture importanti, e in particolare ai rischi – e alle relative tecniche di mitigazione – che questa nuova configurazione comporta dal punto di vista

della sicurezza informatica o *cyber security*. Come già accennato, gli oggetti connessi posseggono infatti le due caratteristiche fondamentali che consentono – ad esempio – ad un virus informatico o malware di operare e propagarsi: una CPU che ne esegua il software, e una rete per diffonderlo, oltre che inviare o ricevere informazioni da altri oggetti o elaboratori.

1. Infrastrutture critiche *smart*: un nuovo target per gli attacchi informatici

Chi ha vissuto la storia dell'informatica negli ultimi 40 anni ricorda certamente l'entusiasmo con il quale intorno all'inizio degli anni '80 è stata salutata la possibilità di interconnettere tra loro sistemi di elaborazione: una rivoluzione che presto portò alla possibilità di spostare dati e informazioni da una parte all'altra del mondo in pochi secondi, resa possibile dalle stesse tecnologie di comunicazione sulle quali si basa ancora oggi la rete Internet. A quell'entusiasmo è rapidamente seguita la constatazione che gli usi della rete potessero anche andare oltre quelli progettati e desiderati: a poca distanza dalla introduzione delle reti di comunicazione digitali abbiamo assistito alla nascita delle azioni mirate ad accedere illegalmente agli elaboratori (ora raggiungibili facilmente grazie alla connettività globale) per sottrarre informazioni riservate e rilevanti dal punto di vista industriale, politico o militare.

Tali azioni, delle quali le prime tracce risalgono alle metà degli anni '80, hanno trovato terreno fertile nelle prime implementazioni delle reti digitali, progettate senza tecniche native di sicurezza informatica. E a dire il vero ancora oggi la rete Internet non è *intrinsecamente* sicura: essa trasporta i dati nella forma in cui sono generati, lasciando agli elaboratori che si scambiano le informazioni il compito di applicare alla fonte tecniche di cifratura, autenticazione degli utenti, autorizzazione all'accesso.

La diffusione di oggetti connessi come parte integrante dei sistemi di monitoraggio e controllo di impianti e infrastrutture critiche espone questi sistemi a minacce del tutto simili a quelle che nei 40 anni passati hanno interessato i sistemi informativi di tutto il mondo. Ma se finora la intrusione in un sistema digitale poteva essere finalizzato alla sottrazione di dati o di denaro, è facile immaginare come analoghi attacchi a sistemi cyber-fisici possano avere conseguenze ben più drammatiche, mettendo a rischio la vita di migliaia di persone (ad esempio aumentando la immissione in un acquedotto di sostanze chimiche che in piccole dosi sono necessarie per la purificazione dell'acqua) o l'operatività di intere città (ad esempio attaccando il sistema di controllo di una rete elettrica o del gas).

Nei 20 anni passati (ovvero poco dopo la introduzione sul mercato di oggetti e sensori connessi in rete) si sono verificati in diverse parti del mondo attacchi informatici a infrastrutture critiche che hanno rivelato come tutto ciò sia tutt'altro che una remota ipotesi: come meglio dettagliato negli esempi riportati nelle sezioni seguenti, gli oggetti connessi (che oggi sono la comunità di utenti più numerosa della rete Internet¹) sono diventati obiettivo di azioni in tutto assimilabili ad attacchi terroristici su grande scala. E il fenomeno sta crescendo rapidamente: gli attacchi di tipo cyber condotti verso impianti industriali o infrastrutture critiche sono aumentati numericamente del 200% all'anno nell'ultimo biennio. L'impatto economico dei *cyber crimini* (non limitati a quelli che hanno come obiettivo le infrastrutture) è di circa 6,000 miliardi di dollari, con un costo medio di ciascuna violazione pari a 3,86 milioni di dollari (dati 2020).

La complessità nel contrasto ai cyber attacchi è sempre crescente in quanto le tecniche utilizzate sono sempre più sofisticate, e gli hacker celano l'attacco dietro situazioni che apparentemente sono del tutto normali: il 90% degli attacchi ha inizio perché un utente apre un allegato o un link contenuto in un messaggio email apparentemente lecito e innocuo; il 38% dei virus e dei malware vengono installati sugli elaboratori degli utenti nascosti sotto forma di *macro* in documenti di testo (Word).

Gli attacchi a impianti e infrastrutture presentano tuttavia aspetti di complessità che li rendono più difficili da mettere a punto rispetto agli attacchi che riguardano in modo esclusivo il mondo digitale e gli elaboratori tradizionali: l'architettura degli elaboratori e le modalità della loro connessione in rete sono infatti relativamente standard, e quindi la propagazione di un virus o le tecniche di penetrazione di un server connesso a Internet sono valide su scala quasi universale. Viceversa gli attacchi che hanno come target sistemi cyber-fisici devono fare i conti con il fatto che per questi ultimi non esiste in genere uno standard di realizzazione o implementazione. Spesso quindi l'attacco cyber a un impianto richiede un sopralluogo sul posto per verificare quali macchinari sono presenti e qual è la tipologia di dispositivi di controllo utilizzata. Le motivazioni che spingono gli attaccanti a scegliere questo tipo di obiettivi vanno generalmente oltre la semplice sottrazione di dati o danneggiamento di un sistema informatico (possono essere ragioni politiche, sociali oltre che meramente economiche), e spesso giustificano – dal punto di vista dell'aggressore – una attività organizzativa costosa e di lungo periodo prima di sferrare l'attacco.

¹ Il numero degli oggetti connessi alla fine del 2022 è stimato in 14.5 miliardi, di gran lunga superiore al numero di utenti umani (<https://iot-analytics.com>).

Stuxnet: attacco ai laboratori nucleari di Natanz (Iran)

Il caso del virus Stuxnet è il primo esempio di attacco cyber diretto ad un impianto industriale. Stuxnet è un virus che nel 2010 è stato utilizzato per mettere fuori uso alcune centrifughe utilizzate per l’arricchimento dell’uranio in una centrale nella città di Natanz (Iran).

Il software, estremamente sofisticato, si comportava come un *worm*, ovvero era in grado di propagarsi sui normali elaboratori del centro di controllo della centrale. Da questi eseguiva la installazione di due moduli software esclusivamente su alcuni dispositivi (chiamati PLC) usati per il controllo dei macchinari *target*: il primo modulo andava a sostituire il software di controllo delle turbine, e il secondo progettato per inviare alla stazione di controllo indicazioni di funzionamento normale, nascondendo così l’attacco. Prima che gli addetti all’impianto si rendessero conto di quanto stava succedendo, numerose delle centrifughe dell’impianto sono state distrutte dal virus, che agiva (causando un grave impatto nel *mondo fisico*) alterando in modo irregolare il numero di giri del motore dei macchinari.

Nel caso di Stuxnet la responsabilità della propagazione iniziale del *worm* non è della rete: l’impianto era infatti protetto e completamente isolato, e quindi non accessibile dal mondo esterno utilizzando la rete Internet. Si ritiene che il software malevolo sia stato introdotto nell’impianto utilizzando una chiavetta USB in dotazione al personale che eseguiva la manutenzione o aggiornamento software dei dispositivi.

Il livello di sofisticazione dell’attacco lascia pensare che esso sia stato messo a punto da organizzazioni governative di stati stranieri ostili all’Iran. La notizia sull’attacco e le informazioni sul software Stuxnet sono state diffuse per errore quando il virus è inavvertitamente uscito dalla centrale a bordo di un laptop che era stato colpito, e che ha poi propagato il worm all’esterno dell’area confinata alla quale era stato destinato. All’esterno della centrale il virus non ha fatto danni in quanto era stato progettato per operare in modo specifico nel contesto di quell’impianto, dimostrando tra l’altro che chi lo ha progettato conosceva bene l’ambiente informatico utilizzato.

Il primo attacco ad una centrale elettrica (Ucraina, dicembre 2015)

Nel 2015 è stato registrato in Ucraina il primo attacco ad una centrale elettrica, che ha lasciato senza alimentazione elettrica più di 200,000 persone per diverse ore. L’attacco, verificatosi nel contesto storico della guerra tra Russia e Ucraina iniziata l’anno precedente, è stato attribuito a hacker che hanno agito via Internet dalla Federazione Russa.

L'attacco, pianificato durante il periodo natalizio nel quale la centrale aveva in sede una forza lavoro molto ridotta, è stato organizzato in diverse fasi, alcune delle quali sono state condotte in parallelo:

- Attacco e penetrazione all'interno della rete dell'azienda elettrica, utilizzando la tecnica *email phishing*² per propagare il software malevolo, denominato *BlackEnergy*
- Acquisizione del controllo (tastiera, mouse, monitor) di workstation utilizzate per la gestione del sistema. Conseguente spegnimento manuale di diverse sottostazioni
- Parallelamente, messa fuori uso di diversi elementi della infrastruttura IT dell'azienda (UPS, Modem etc)
- Distruzione di file utili per la riconfigurazione dei sistemi
- Attacco di tipo DOS (Denial-Of-Service³) verso il call center della società, impedendo la comunicazione da e verso gli utenti vittime della interruzione di energia elettrica

È degno di nota il fatto che l'anno successivo, sempre nel periodo delle festività del Natale, l'Ucraina fu vittima di un secondo attacco. A differenza dell'anno precedente, il virus utilizzato (chiamato *Industroyer*) questa volta era più evoluto e in grado di eseguire la procedura di spegnimento delle sottostazioni in modo completamente automatico (senza cioè l'intervento manuale – ancorché da remoto – dell'attaccante).

Ransomware: l'attacco a Colonial Pipeline (Maggio 2021)

La Colonial Pipeline è un oleodotto che si estende per 9000 Km dal Texas al New Jersey, portando carburante in molti stati della costa Est degli Stati Uniti. Nel 2021 fu vittima del più grande *cyber attacco* ad una infrastruttura critica negli USA.

L'attacco in questo caso non è stato diretto ai dispositivi installati lungo la infrastruttura di trasporto, ma indirettamente passando dalla rete dell'azienda dove venne eseguita la intrusione in alcuni server dai quali venne sottratta una grande quantità di dati in due ore. Terminata la sottrazione dei dati la rete aziendale fu contaminata con un *ransomware*, un particolare tipo di virus che

² La tecnica *email fishing* consiste nell'inviare ad un utente messaggi di email in tutto simili a messaggi leciti (falsificando sia il mittente sia il testo del messaggio), nei quali viene chiesto di svolgere azioni apparentemente necessarie ma che in realtà sono studiate per sottrarre credenziali o altre informazioni utili per compiere atti criminosi (es. accesso a siti di *home banking* o installazione di software malevolo sul computer dell'utente).

³ Gli attacchi di tipo *Denial of Service* vengono perpetrati generando un numero di richieste verso un servizio tanto elevato da mandare in crisi i sistemi informatici che lo erogano, rendendo di fatto il servizio non utilizzabile dagli utenti per tutta la durata dell'attacco.

ha l’effetto di cifrare – rendendoli illeggibili – i dati sugli elaboratori attaccati.

La società, accortasi della presenza del virus, decise cautelativamente di limitarne la propagazione spegnendo tutti gli impianti (inclusi quelli di pompaggio), e sospendendo quindi la fornitura di carburante lungo tutto l’oleodotto.

L’attaccante, un gruppo che si fa chiamare DarkSide, chiese un riscatto (da cui il nome di *ransomware* attribuito a questo tipo di attacchi) di 75 bitcoin (pari ad oggi a circa 1,25 milioni di €, e al tempo dell’attacco a circa 3 milioni di €), che Colonial Pipeline pagò per ottenere il ripristino dei dati cifrati e recuperare il controllo dei propri sistemi. Il disservizio ebbe una durata totale di 6 giorni (una parte significativa del riscatto venne successivamente recuperato tracciando le transazioni eseguite per lo spostamento dei Bitcoin).

Il canale utilizzato per l’attacco fu in questo caso la VPN aziendale⁴: la password di uno dei collaboratori di Colonial Pipeline era stata catturata in un diverso attacco non collegato all’azienda (l’utente utilizzava la stessa password per accedere a diversi servizi o applicazioni anche ad uso personale).

2. Cybersecurity degli oggetti connessi

Se oggi la cyber security per i sistemi di informazione “classici” (server, portali web, desktop, laptop) è un tema al quale sono dedicati una elevata attenzione e investimenti significativi, lo stesso non si può dire per la sicurezza informatica degli oggetti connessi: chiunque abbia acquistato negli anni passati uno di questi dispositivi *smart* (per la gestione della casa ad esempio) avrà certamente notato che la configurazione della sicurezza o non è disponibile, oppure è limitata alla impostazione di semplici password. E questi oggetti non sono più *innocui* come i primi dispositivi di tipo IoT: hanno una elevata capacità di calcolo (e sono quindi in grado di eseguire applicazioni software complesse) grazie ai progressi delle tecnologie digitali (processori sempre più piccoli e veloci, pur necessitando di poca energia). E si trovano connessi in un contesto nel quale le grandi dorsali di rete hanno una capacità praticamente illimitata: basti pensare che le moderne fibre ottiche sono in grado di trasportare 1 Petabit (ovvero un milione di miliardi di bit) al secondo ciascuna.

⁴ La tecnologia VPN (*Virtual Private Network*) consente agli utenti di virtualizzare (rendendola disponibile da remoto) la propria rete aziendale, consentendo cioè loro di utilizzare i servizi e i sistemi della propria azienda come se si trovassero nei propri uffici. Per evidenti ragioni di sicurezza il servizio VPN è attivabile solo avendo opportune credenziali.

Gli oggetti all'attacco: la tecnica DDOS (Distributed Denial-Of-Service)

I rischi *cyber* connessi alla presenza nel mondo di oggetti in grado di elaborare e comunicare non sono solo gli attacchi che hanno gli stessi oggetti come obiettivo finale: altrettanto critiche sono nuove tipologie di attacco che utilizzano gli oggetti come armi digitali per mettere fuori uso altri obiettivi (server o servizi).

Tra questi è particolarmente rilevante (e purtroppo diffusa) la tecnica detta Distributed Denial of Service, il cui nome deriva dal fatto che l'attacco non parte da un solo elaboratore, ma richiede una preventiva organizzazione di una sorta di "esercito" (*IoT army*) di centinaia o migliaia di dispositivi istruiti in modo che, al momento predefinito, si attivino in modo coordinato per condurre l'azione criminosa (in questo caso la interruzione, seppur temporanea, di un servizio⁵).

L'uso di una tecnica così complessa, che richiede una attenta e lunga fase di preparazione, è giustificata da alcuni fattori principali:

- La potenza di calcolo degli elaboratori (e quindi dei *server* utilizzati per erogare servizi) è finora cresciuta esponenzialmente nel tempo: oggi è possibile mettere in crisi un servizio solo se si riesce a "bombardare" i sistemi corrispondenti con una quantità di richieste estremamente elevata.
- Come fatto notare nella sezione precedente, le dorsali della rete globale (alla quale sono connessi gli elaboratori che erogano i principali servizi) sono in grado di *trasportare* la mole di dati necessaria per un attacco di DOS. Viceversa la connettività e la potenza di calcolo a disposizione di un comune elaboratore installato nella periferia della rete non sono sufficienti a *generare* quel traffico. È quindi necessario ricorrere a più punti di generazione di traffico localizzati in periferia, e convogliare quel traffico di rete verso il server *target* dell'attacco.
- La presenza di un elevato numero di oggetti connessi a Internet e la loro ampia e capillare distribuzione nella periferia della rete costituisce lo scenario ideale per configurare e mettere in atto gli attacchi di *DOS distribuito*

Le fasi nelle quali si articola un moderno attacco DDOS sono quindi le seguenti:

- L'attaccante esegue una ampia scansione della rete internet alla

⁵ Si noti che gli attacchi di tipo DOS o DDOS non arrecano danni permanenti ai sistemi presi di mira: l'obiettivo dell'attacco in questi casi è causare la non disponibilità del servizio target per un periodo di tempo che dipende dalle capacità e modalità di reazione dell'attaccato.

ricerca di oggetti connessi che presentino vulnerabilità di accesso e funzionalità utili per l’attacco (assenza di password, password semplici o pubblicamente note, possibilità di installazione ed esecuzione di software, etc)

- Su ciascuno di questi oggetti viene installato un piccolo programma (applicazione SW) che non fa altro che inviare una sequenza di richieste al server che si desidera rendere indisponibile (DOS): un esempio semplice di interrogazione potrebbe essere la richiesta di una specifica pagina web. Questa applicazione viene programmata in modo identico su tutti i dispositivi che fanno parte della *IoT army* per rimanere inizialmente inattiva (anche per un tempo lungo), entrando in azione ad una specifica data e ora: per evidenti ragioni questa configurazione viene spesso indicata come una *bomba a tempo* (*time bomb*).

A questo punto l’attacco è pronto (si noti che fino a questo punto, salvo errori dell’attaccante, nessuno ha avuto modo di accorgersi di quanto è avvenuto), e al momento prestabilito tutti gli oggetti selezionati e programmati inizieranno a inviare (tutti nello stesso istante) il maggior numero di richieste possibile verso il server target. Il traffico generato sarà convogliato sulle dorsali verso la vittima, che riceverà uno *tsunami* di richieste che – se l’attacco è stato progettato in modo adeguato – lo metterà fuori uso.

Esempio di DDOS: l’attacco a Dyn (ottobre 2016)

Dyn era una società specializzata in servizi di cybersecurity e nella osservazione, controllo e ottimizzazione di infrastrutture online. Tra i servizi che offriva figurava anche la gestione del servizio DNS (Domain Name System⁶) per ampie aree geografiche degli Stati Uniti.

Il servizio DNS è fondamentale per poter raggiungere qualsiasi sito o elaboratore connesso a Internet. Una eventuale indisponibilità di quel servizio mette in ginocchio l’intera connettività da e verso la rete internet per gli utenti delle aree geografiche interessate.

Nell’Ottobre 2016 i server della società Dyn sono stati obiettivo di tre attacchi di tipo DDOS consecutivi, isolando di fatto dalla rete milioni di utenti

⁶ Il servizio DNS è uno dei servizi basilari della rete Internet, e si occupa della traduzione da indirizzi mnemonici – come quelli che indichiamo come URL per raggiungere siti web – nei corrispondenti indirizzi numerici (molto più difficili da ricordare) che sono utilizzati da elaboratori, router e altri apparati per le comunicazioni sulla rete Internet. Ad esempio, ogni volta che consultiamo un sito Internet il nostro elaboratore esegue come prima operazione una richiesta al servizio DNS per ottenere l’indirizzo numerico corrispondente al sito che ci interessa visitare.

per diverse ore, e alcuni siti molto utilizzati come Amazon, Twitter, Spotify, Netflix, Reddit risultavano irraggiungibili.

L'attacco è stato condotto inviando a Dyn richieste contemporanee di traduzione da nome a indirizzo IP (il servizio principale del DNS) da decine di milioni di falsi utenti, utilizzando decine di migliaia di oggetti connessi.

Il software (malware) utilizzato, noto con il nome di *Mirai botnet*, in preparazione per l'attacco era stato installato su un elevato numero (tra 50,000 e 100,000) di dispositivi come webcam, router domestici e *baby monitor* in tutto il mondo. Come in altri casi, Mirai era costituito da due parti, una dedicata alla propagazione (il *worm*) e l'altra alla esecuzione dell'attacco (*Command and Control*).

Una curiosità relativa a Mirai Botnet è che il suo codice è stato reso pubblico, ed è stato utilizzato da molti per mettere a punto attacchi simili a quello diretto a Dyn. Tra questi l'esempio più rilevante (verificatosi nel novembre 2016, solo un mese dopo l'attacco ai server di Dyn) ha interessato 900,000 router di Deutsche Telecom, sui quali una versione modificata di Mirai è stata installata sfruttando una vulnerabilità del sistema di accesso per la gestione remota di quegli apparati.

Tecniche di difesa: come proteggere gli oggetti connessi?

Gli esempi di attacchi perpetrati utilizzando oggetti connessi (come *obiettivo ultimo* oppure come *strumento di esecuzione* del crimine) hanno un fattore in comune: la violazione degli oggetti – sfruttando vulnerabilità dovute alla loro configurazione SW o a problemi di progettazione – per installarvi componenti del malware utilizzato. Il problema sarebbe risolto se esistesse un modo per rendere complessa o impossibile la installazione di software non certificato su questi dispositivi. Ulteriori garanzie di cybersecurity si otterrebbero inserendo nella architettura delle infrastrutture che fanno uso di IoT sistemi sicuri e robusti preposti a verificare che gli oggetti connessi siano quelli autorizzati, e che il software che hanno a bordo non sia stato modificato.

La concorrenza di queste soluzioni contribuisce a creare un ambiente di esecuzione del software sicuro e affidabile, che tecnicamente viene chiamato Trusted Environment. Tra gli elementi basilari che lo compongono figurano ingredienti e tecnologie quali la *gestione della identità digitale* degli oggetti, le *tecniche di Embedded Trusted Computing* e quelle di *decentralizzazione e ridondanza* tipiche delle architetture come *BlockChain* e – più in generale – *Distributed Ledger (DLT)*.

Identità digitale degli oggetti connessi

Il tema della gestione della identità digitale ha una lunga storia nel mondo dei sistemi informativi e della rete Internet, e trova una delle possibili soluzioni nei cosiddetti certificati digitali. Costruito sulla base di un particolare sistema crittografico detto PKI (*Public Key Infrastructure*), il certificato digitale è “*un documento elettronico che attesta la associazione univoca tra una chiave pubblica e l'identità di un soggetto (una persona, una organizzazione, un hardware, un servizio, un software, un file, etc)*” (Wikipedia). La caratteristica delle architetture PKI di prevedere l'esistenza di una chiave pubblica e una chiave privata conferisce a questa famiglia di soluzioni anche il nome di crittografia asimmetrica⁷.

Tra le informazioni presenti nel certificato figura la firma (digitale) della autorità che ha verificato la correttezza delle informazioni e la identità del soggetto interessato.

Una trattazione dettagliata della architettura PKI esula dagli scopi di questo articolo: è sufficiente qui sottolineare come un utente che sia in possesso della chiave pubblica associata ad un determinato certificato può avere la certezza della identità di chi possiede il certificato digitale (garantita dall'autorità che ha emesso il certificato). Tra le azioni che possono essere svolte utilizzando la chiave pubblica figurano:

- La verifica che un determinato documento digitale (o un file: una immagine, una porzione di SW) sia autentico e non sia stato modificato in alcun modo, purché rechi la firma di chi possiede il certificato corrispondente a quella chiave pubblica
- Lo scambio di dati in formato cifrato, e quindi non intercettabile da terzi

È quindi intuibile come un oggetto connesso possa essere reso più sicuro assegnandogli un certificato digitale in modo simile a quanto si fa con gli utenti umani (sulle *smart card* che utilizziamo per apporre la firma digitale ai documenti in formato elettronico – che assumono in quel modo validità legale – è di fatto memorizzato uno di questi certificati associato in modo inequivocabile alla nostra identità). Rimane tuttavia aperto il tema di quale

⁷ Il principio matematico sul quale si basano le tecniche di *crittografia asimmetrica* prevede la generazione di due chiavi, una delle quali – scelta indifferentemente – può essere utilizzata per cifrare un documento, e l'altra per decifrarlo. I servizi abilitati dalle architetture PKI (verifica della firma digitale, verifiche di integrità del documento firmato, funzione di *non ripudio* etc) richiedono che a una di queste chiavi venga attribuito il ruolo di *chiave pubblica* (ovvero che può essere diffusa pubblicamente), e all'altra il ruolo di *chiave privata* (la quale non deve essere diffusa, ma custodita e utilizzata solo dal suo titolare).

sia l'autorità incaricata di assegnare l'identità ad uno specifico dispositivo (occorrerebbe una sorta di *Anagrafe degli oggetti connessi*).

Se gli oggetti avessero tutti un certificato digitale, sarebbe possibile *autenticare* ciascuno di essi, verificare cioè (utilizzando la sua chiave pubblica, che per definizione sarebbe nota a chiunque) se un determinato oggetto è stato sostituito come parte preparatoria di un attacco.

La *autenticazione* di un utente è il primo passo per stabilire con esso un rapporto di fiducia, che viene completato eseguendo una fase di *autorizzazione* ad accedere alle risorse alle quali ha diritto.

La flessibilità tipica delle tecnologie digitali consente una gestione della identità molto più sofisticata di quanto avviene nel mondo “analogico”: in numerose occasioni (accesso a un locale, un ufficio, oppure situazioni nelle quali occorre dimostrare la residenza, l'età, o altro) siamo abituati a farci riconoscere esibendo un documento che contiene molte informazioni relative alla nostra persona, gran parte delle quali non sono necessarie per ottenere il servizio di interesse. Sarebbe molto più coerente (e più rispettoso della nostra privacy) avere documenti diversi, selettivi per singole specifiche occasioni: un documento per dimostrare solo la nostra età, uno per dimostrare solo la nostra residenza, un altro per dimostrare che siamo autorizzati alla guida di un certo veicolo, un altro per dimostrare il possesso di un immobile etc. La gestione della identità digitale rende possibile tutto questo, conferendo ad un utente (sia esso un essere umano o un oggetto) un insieme ampio di credenziali verificabili singolarmente e semplici da utilizzare.

La critica principale ai sistemi centralizzati per la gestione dell'identità risiede nella presenza di una autorità centrale che rilascia le credenziali e permette di verificare l'identità di un oggetto. In un mondo informatico sempre più basato sul concetto di “distribuzione” è possibile superare questo paradigma adottando nuove soluzioni che vanno sotto il nome di *Self-Sovereign Identity* (SSI).

La Self-Sovereign Identity è un nuovo modello di identità digitale per utenti di Internet, e già si presenta come una delle tendenze più importanti dei prossimi decenni. Il principio fondante della SSI è quello di spostare il controllo dell'identità digitale dai “fornitori di identità” terzi direttamente agli individui: questo significa che il controllo delle informazioni relative alla propria identità viene affidato all'utente. Il framework SSI sfrutta il paradigma dell'identità decentralizzata e si basa su due importanti standard del World Wide Web Consortium (W3C): i Decentralized IDentifiers (DID) e le Verifiable Credentials (VC). Il riferimento a questi standard W3C rende il framework SSI altamente interoperabile e portabile.

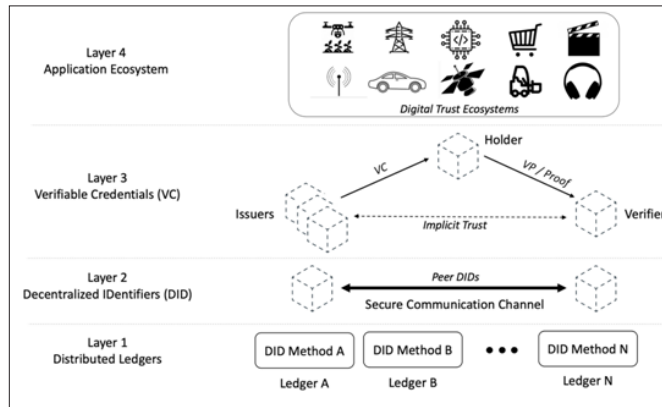


Fig. 1. Lo stack completo della SSI.

Lo stack completo della SSI è rappresentato nella Figura 1.

Il **livello 1** si occupa della *memorizzazione delle informazioni di identità*, ed è costituito da una architettura di tipo *Distributed Ledger* (DLT) che funge da *radice della fiducia* o *Root-of-Trust* (RoT) dell'intera struttura. La DLT funziona come un archivio distribuito nel quale la fiducia e la immutabilità sono garantite dal protocollo di consenso della DLT. I protocolli di consenso sono un tema ampiamente dibattuto e studiato nella letteratura specialistica, ma limitando la classificazione alle diverse tipologie di registro o libro mastro (*ledger*) utilizzato è possibile identificarne due classi principali: il consenso utilizzato nelle *blockchain* (ad esempio Bitcoin, Ethereum) e quello utilizzato nei ledger di tipo *grafo aciclico diretto* o *DAG* (come quello adottato da IOTA, e che prende il nome di *Tangle*).

Un *Identificatore decentralizzato* è un nuovo tipo di identità, unica a livello globale, progettata per essere assegnata ad un soggetto (ad esempio, esseri umani e cose) il quale ne mantiene il pieno controllo, in conformità con il modello di auto-sovranià. Le DID sono rappresentate con il formato URI (*Uniform Resource Identifier*), e associano un soggetto (il *DID subject*) a un documento (*DID document*) che contiene le informazioni necessarie per interagire in modo affidabile con quel soggetto. Il livello 1 comprende anche il *DID method*, una porzione di codice software che abilita lo scambio di informazioni con il ledger specifico. Un *DID method* deve fornire le primitive per

- *creare l'identità* (cioè generare due coppie di chiavi e il *DID document*, e memorizzarlo nel *ledger* all'indirizzo specificato dal DID)

- risolvere un DID (cioè recuperare un *DID document* dall'indirizzo del ledger a cui punta il DID e verificare la correttezza del formato del *DID document*)
- aggiornare il DID (cioè generare un nuovo DID e un nuovo *DID document*)
- revocare un DID (cioè fornire un'evidenza nel ledger del fatto che un DID e il relativo *DID document* siano stati revocati dal controllore).

L'implementazione del *DID method* è specifica per il ledger scelto, e rende i livelli superiori indipendenti da esso.

Il **livello 2** fa uso delle DID e dei *DID Document* per autenticare un partner di una comunicazione e *stabilire con esso un canale di scambio sicuro* (garantendo cioè *mutua autenticazione, riservatezza e integrità*) secondo un paradigma di *infrastruttura a chiave pubblica decentralizzata (DPKI)* in cui il Distributed Ledger è la *Root of Trust*.

Il *DID document* contiene le informazioni crittografiche pubbliche e i metodi di verifica per dimostrare il controllo del DID (cioè il controllo delle informazioni crittografiche private) come elemento centrale della creazione del canale sicuro. Il modello di dati del documento DID è codificato utilizzando un formato JSON.

Il livello 2 sfrutta la tecnologia DID (cioè il fondamento della sicurezza del framework SSI) per avviare la procedura di autenticazione.

Infine il **livello 3** (si veda ancora la Fig. 1) *finalizza l'autenticazione, concedendo l'autorizzazione ai servizi* e l'accesso alle risorse utilizzando credenziali dette *verificabili (Verifiable Credentials o VC)*. Le VC costituiscono un meccanismo per esprimere le credenziali digitali in modo crittograficamente sicuro e verificabile da un elaboratore. Una *Verifiable Credential* è un documento digitale non falsificabile che contiene elementi dell'identità digitale aggiuntive rispetto ad una semplice coppia di chiavi e a un DID. Essa contiene informazioni analoghe a quelle offerte da una credenziale fisica, ma garantendo maggiore affidabilità grazie all'aggiunta delle firme digitali che rendono evidenti eventuali manomissioni.

La combinazione di *coppie di chiavi*, una *DID*, un *DID Document* e almeno una *Verifiable Credential* costituisce l'*identità digitale nel framework SSI*. Il livello 3 si basa sul classico triangolo della fiducia (illustrato nella Fig. 1), che nella configurazione classica prevede la coesistenza di tre ruoli diversi:

- **Titolare:** è l'attore del sistema (utente umano o oggetto) che possiede uno o più VC e che genera appropriate *Presentazioni Verificabili*

(*Verifiable Presentation* o *VP*) ad un *Verificatore* per richiedere accesso ad un servizio o a una risorsa

- **Emittente:** è l'attore del sistema che emette dichiarazioni su uno o più soggetti, creando una *Verifiable Credential* a partire da tali dichiarazioni e trasmettendola ad un *Titolare*. Il soggetto è l'attore al quale si riferiscono le dichiarazioni. Molto spesso il *Titolare* e il soggetto coincidono, ma in alcuni casi il *Titolare* può anche possedere una credenziale che contiene dichiarazioni relative ad un soggetto diverso;
- **Verificatore:** è l'attore del sistema che riceve una o più Presentazioni Verificabili (VP) da elaborare (ad esempio eseguendo la verifica crittografica sulle VC generate da Emittenti e Titolari).

Una Credenziale Verificabile contiene metadati per descrivere le proprietà della credenziale, come il contesto, l'ID, il tipo, l'emittente, la data di emissione e di scadenza. Particolarmente importanti tra questi metadati sono le dichiarazioni (una o più, generate dall'Emittente) che il Verificatore utilizza per concedere l'accesso al servizio o risorsa richiesti. Una dichiarazione è una affermazione (di qualsiasi tipo) su un soggetto, espressa da una relazione soggetto-proprietà-valore. L'Emittente esegue una prova crittografica per rendere il VC un documento digitale non falsificabile e verificabile per affermare proprietà / caratteristiche / funzionalità.

Il *Titolare* richiede al *Verificatore* l'accesso a servizi e/o risorse mediante una Presentazione Verificabile (VP). La VP è costruita come un involucro di una credenziale verificabile, e contiene la prova crittografica eseguita dal *Titolare*.

Al momento della generazione di una credenziale verificabile, l'Emittente può anche pubblicare sul ledger uno schema di dati, una sorta di *template* utile per imporre una struttura e un formato di dati specifici per quella VC. In fase di verifica il Verificatore può recuperare tale schema di dati e utilizzarlo per verificare se la struttura e i contenuti di una VC sono ben formati (cioè, sono conformi al template pubblicato).

Gli emittenti sono anche responsabili della revoca delle *Verifiable Credential* per l'integrità crittografica e di eventuali cambi di stato. Un verificatore, mentre controlla l'autenticità delle VC e delle VP, è tenuto a controllare lo stato della VC e respingere qualsiasi richiesta nel caso in cui la VC risulti revocata. Gli emittenti sono invitati ad annunciare le revoche inserendole in un elenco al quale possono poi accedere i verificatori. La raccomandazione del W3C esorta gli emittenti a utilizzare meccanismi che attenuino le potenziali violazioni della privacy, ad esempio utilizzando un identificatore unico a livello globale come soggetto per una determinata Credenziale Verificabile, e a non riutilizzarlo mai.

A partire dai tre livelli illustrati in precedenza è possibile costruire qualsiasi ecosistema di interazioni affidabili tra esseri umani e cose.

3. La fiducia negli oggetti connessi: *Embedded Trusted Computing*

La tecnica del Trusted Computing è utilizzata da tempo per assicurare che il software che viene eseguito su un elaboratore sia affidabile, ovvero sia certificato dal fornitore e non sia stato sostituito o manomesso. Basata anch'essa sui principi della *crittografia asimmetrica*, la tecnologia Trusted Computing prevede la presenza, a bordo dell'elaboratore che si intende rendere sicuro, di un elemento sicuro denominato TPM (Trusted Platform Module), che svolge numerose funzioni crittografiche utili ad assicurare che non venga eseguito un programma che risulta manomesso o installato senza autorizzazione. Appare evidente come una architettura dotata di modulo TPM rappresenti una soluzione per molte delle criticità dei sistemi che ne sono dotati, impedendo ad esempio la propagazione di un virus o la manomissione di un modulo software presente sul server o sul dispositivo. Il prezzo da pagare è una complicazione architetturale.

Quando la tecnica del Trusted Computing viene applicata ad un oggetto connesso (in molte applicazioni industriali chiamato *Sistema Embedded*), il paradigma risultante viene denominato *Embedded Trusted Computing*.

L'obiettivo finale dell'applicazione del Trusted Computing è quello di consentire a un nodo di *misurare e dimostrare la propria integrità* in modo crittografico, cioè di provare agli altri nodi che il software che ha in esecuzione è quello previsto e non è stato manomesso. L'identificazione dei componenti software avviene attraverso una *catena di trust*, che ha come radice una *ancora di fiducia* (*Trust Anchor* o *TA*). La TA è una entità autorevole per la quale la fiducia è data per scontata e non derivata. Un esempio tipico è la porzione di firmware piccola e accuratamente progettata, che viene eseguita dal sistema all'accensione o al reset dell'hardware. La *Trust Anchor* è responsabile dell'inizio della costruzione della catena di fiducia durante la fase di *bootstrap* del nodo. Ogni elemento della catena è un componente software che, una volta eseguito, svolge i suoi compiti e poi identifica, carica e infine esegue il componente software successivo.

La decisione sulla fiducia può avvenire in qualsiasi fase del processo di *bootstrap* per prendere le giuste contromisure in caso di attacco. Questa decisione può eventualmente essere presa quando il *bootstrap autenticato* è completato; in questo caso si rende necessaria la presenza di un nodo detto *Attestatore Remoto*, responsabile di verificare con una determinata periodicità l'affidabilità dei nodi

target sottoponendo loro opportune *s sfide*. La attestazione remota viene eseguita chiedendo al nodo da attestare di inviare, per eseguire le necessarie verifiche crittografiche, informazioni sui componenti software caricati.

In particolare questo sistema è utile nel contesto della Internet of Things, nel quale gli oggetti connessi rappresentano una componente debole a causa delle limitate risorse di calcolo e di comunicazione rispetto a server tradizionali. La presenza di un sistema esterno al quale gli oggetti, una volta terminata la fase di *bootstrap* (eventualmente già resa sicura grazie alla presenza di un TPM), si devono *presentare* dimostrando la propria integrità dal punto di vista sia HW sia SW, offre garanzie di sicurezza superiori a quelle che si otterrebbero con la sola esecuzione di verifiche a bordo dei dispositivi stessi: solo dopo aver superato con successo la fase di *Remote Attestation* i dispositivi vengono autorizzati ad accedere alle risorse che fanno parte del contesto nel quale sono destinati ad operare.

4. Cybersecurity by Redundancy: architetture distribuite e ridondanti

L'ultimo esempio di soluzione architeturale che presentiamo come strumento per aumentare la sicurezza informatica è basata su un principio consolidato e semplice da comprendere: la *ridondanza*, ovvero la replica delle informazioni su diversi sistemi informatici. Introducendo ridondanza si pone chi volesse attaccare un sistema o un servizio per distruggere o modificare dati e informazioni nelle condizioni di dover eseguire l'attacco su una molteplicità di sistemi informatici, affrontando quindi una complessità molto maggiore. È immediato comprendere come la sicurezza che si ottiene con questa tecnica è tanto maggiore quanto più elevato è il numero di elaboratori sui quali le informazioni sono replicate.

Dal punto di vista tecnico la difficoltà nella gestione di un sistema di questo tipo, nel quale non esiste un sistema eletto a svolgere le funzioni di orchestratore o arbitro (che sarebbe un punto di debolezza dell'intero sistema) ma solo elaboratori indipendenti tra loro, consiste nell'assicurare che tutti mantengano aggiornata la propria replica dei dati da rendere sicuri e affidabili. Questa esigenza ha fatto nascere e crescere un'area di studio e ricerca tecnologica di grande complessità denominata *protocolli di consenso nei sistemi distribuiti*.

Il consenso tra un gruppo di elaboratori che collaborano svolgendo le stesse funzioni viene raggiunto quando la maggioranza assoluta ($50\% + 1$) dei partecipanti concorda su una determinata decisione (che può anche semplicemente essere un valore numerico, o la versione di un documento da considerare

valida e ufficiale). I sistemi distribuiti e le tecniche di consenso sono argomenti studiati nella *Computer Science* fin dagli anni '70 dello scorso secolo, e hanno avuto recentemente una nuova fase di evoluzione importante con la introduzione dei sistemi denominati *Distributed Ledger*: in alcune di queste complesse architetture (la più famosa delle quali è la *BlockChain*) i sistemi partecipanti (diverse migliaia o decine di migliaia di elaboratori) concorrono nel mantenere aggiornato un registro delle transazioni al quale vengono continuamente aggiunti i nuovi movimenti. Una componente importante della sicurezza offerta dai sistemi di Distributed Ledger risiede nel fatto che un attaccante che volesse modificare le informazioni contenute nel registro delle transazioni dovrebbe violare migliaia di elaboratori, apportando la modifica su ciascuno di essi.

Conclusioni

La combinazione delle tre tecniche presentate, ovvero Identità Digitale distribuita, Trusted Computing e DLT permette di sviluppare sistemi connessi distribuiti nei quali ogni elemento può verificare la fiducia che ripone in altri componenti e nei dati scambiati prima di prendere decisioni operative critiche. Questo approccio è fondamentale – e oggetto di specifici *trend* di ricerca – nel caso delle infrastrutture critiche, per le quali il concetto di *fiducia* nei dispositivi elettronici installati è fondamentale per operare in modo sicuro garantendo l'incolumità delle persone che convivono con le infrastrutture digitali.

Le tre tecniche presentano caratteristiche funzionali e costi differenti, che le rendono più o meno adatte a seconda dei possibili scenari nei quali possono essere impiegate.

La soluzione che presenta la più ampia applicabilità è la gestione della *identità digitale distribuita*, che rappresenta un concetto applicativo e trasversale, e che può essere implementato utilizzando soluzioni tecnologiche diverse. La assegnazione di una identità a ciascuno degli attori che partecipano ad una applicazione digitale (siano essi umani, elaboratori o dispositivi embedded) è una *conditio sine qua non* in quanto la conoscenza degli attori di una qualsiasi interazione è il punto di partenza per poter implementare meccanismi di sicurezza in ogni sistema distribuito. Tale conoscenza consente infatti di eseguire verifiche di autorizzazione e soprattutto di attribuzione di responsabilità per ciascuno degli eventi di interesse rilevati.

La implementazione di soluzioni di *Trusted Computing* richiede una revisione della architettura elettronica dei sistemi target, e pertanto risulta adatto

a sistemi che presentano una significativa criticità in termini di verifiche di cybersecurity: componenti che intervengono nel controllo di infrastrutture critiche (sensori / attuatori) o schede installate a bordo di robot, veicoli o velivoli rappresentano certamente esempi di dispositivi per i quali gli elevati costi di riprogettazione HW sono commisurati ai vantaggi ottenuti. Più in generale queste considerazioni valgono in tutti i casi nei quali attacchi di tipo cyber potrebbero avere effetti nel mondo fisico mettendo a rischio la incolumità (*safety*) delle persone (automotive, velivoli, veicoli autonomi, robotica di servizio, etc).

Infine, l’uso delle *DLT* interviene a complemento delle altre soluzioni descritte, in quanto tali tecnologie forniscono servizi di memorizzazione immutabile dei dati, caratteristica strumentale alla implementazione di soluzioni di identità digitale e verifica della integrità del software e dei dati. Essendo inoltre infrastrutture pubblicamente accessibili e disponibili, il loro impiego può risultare conveniente anche dal punto di vista degli investimenti necessari alla realizzazione delle soluzioni.

Riferimenti bibliografici

- D. Kushner, *The Real Story of Stuxnet*, IEEE Spectrum, Vol. 50, Issue 3, 2013.
- Trade-offs between Distributed Ledger Technology Characteristics*, ACM (Association for Computing Machinery) Computing Surveys, Vol. 53, No 2, 29 marzo 2020.
- F. Chiarello *et al.*, *Analisi del caso BlackEnergy: tra geopolitica e cybersecurity*, Analytica for Intelligence and Security Studies, giugno 2021.
- TCG TSS 2.0 Overview and Common Structures Specification*, TCG (Trusted Computing Group), Version 1.0, 23 settembre 2021.
- Verifiable Credentials Data Model v1.1*, W3C Recommendation, 3 marzo 2022.
- S.M. Kerner, *Colonial Pipeline hack explained: Everything you need to know*, Techtarget.com, 26 aprile 2022.
- Decentralized Identifiers (DIDs) v1.0: Core Architecture, data model and representations*, W3C Recommendation, 19 luglio 2022.
- Distributed Ledger Technologies: Research and Practice*, ACM (Association for Computing Machinery), Vol. 2, Issue 1, marzo 2023.

Structural and seismic monitoring of historical and contemporary buildings: general principles and applications

ROSARIO CERAVOLO*

Memoria presentata dal Socio nazionale residente Mario Alberto Chiorino
nell'adunanza del 9 marzo 2022, ricevuta il 18 novembre 2022,
approvata il 14 dicembre 2022, online dal 4 aprile 2023

Abstract. *Structural Health Monitoring (SHM) indicates the continuous or periodic assessment of the conditions of a structure or a set of structures using information from sensor systems, integrated or autonomous, and from any further operation that is aimed at preserving structural integrity. SHM is a broad and multidisciplinary field, both for the spectrum of sciences and technologies involved and for the variety of applications. The technological developments that have made the advancement of this discipline possible come from many fields, including physics, chemistry, materials science, biology, but above all aerospace, civil, electronic and mechanical engineering. The first applications, at the turn of the sixties and seventies, concerned the integrity control of remote structural elements, such as foundation piles and submerged parts of off-shore platforms, but nowadays this type of monitoring is practiced on airplanes, vehicles spacecraft, ships, helicopters, automobiles, bridges, buildings, civil infrastructure, power plants, pipelines, electronic systems, manufacturing and processing facilities, and biological systems. This paper carries out an extensive examination of the theoretical and applicative foundations of structural and seismic monitoring, focusing in particular on methods that exploit natural vibrations and their use both in the diagnosis and in the prediction of the seismic response of civil structures, infrastructure networks, and traditional and modern architectural heritage.*

KEYWORDS: Structural Health Monitoring, System Identification, Structural Dynamics, Seismic Structural Health Monitoring, Architectural Heritage.

* Dip. di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino; rosario.ceravolo@polito.it

Riassunto. *Nell'accezione comune, l'espressione inglese «Structural Health Monitoring» indica la valutazione continua o periodica delle condizioni di una struttura o di un insieme di strutture utilizzando le informazioni provenienti da sistemi di sensori, integrati o autonomi, e da qualsiasi ulteriore operazione che sia finalizzata a preservare l'integrità strutturale. Si tratta di un ambito ampio e multidisciplinare, sia per lo spettro di scienze e tecnologie coinvolte che per la varietà delle applicazioni. Gli sviluppi tecnologici che hanno reso possibile l'avanzamento di questa disciplina provengono da molti campi, tra cui la fisica, la chimica, la scienza dei materiali, la biologia, ma soprattutto l'ingegneria aerospaziale, civile, elettronica e meccanica. Le prime applicazioni, a cavallo tra gli anni sessanta e settanta, riguardavano il controllo dell'integrità di elementi strutturali inaccessibili, quali i pali di fondazione e parti immerse delle piattaforme off-shore, ma oggi questo tipo di monitoraggio viene praticato su aerei, veicoli spaziali, navi, elicotteri, automobili, ponti, edifici, infrastrutture civili, centrali elettriche, condutture, sistemi elettronici, impianti di produzione e lavorazione e sistemi biologici. La presente memoria svolge un'ampia disamina dei fondamenti teorici e applicativi del monitoraggio strutturale e sismico, soffermandosi in particolare sui metodi che sfruttano le vibrazioni naturali e sul loro impiego nella diagnosi e nello studio della risposta sismica di strutture civili, reti di infrastrutture, beni architettonici tradizionali e moderni.*

PAROLE CHIAVE: dinamica delle strutture, identificazione strutturale, monitoraggio strutturale, monitoraggio sismico, patrimonio architettonico.

Structural Health Monitoring (SHM) indicates the continuous or periodic assessment of the conditions of a structure or a set of structures using information from sensor systems, integrated or autonomous, and from any further operation that is aimed at preserving structural integrity. SHM is a broad and multidisciplinary field, both for the spectrum of sciences and technologies involved and for the variety of applications. The technological developments that have made the advancement of this discipline possible come from many fields, including physics, chemistry, materials science, biology, but above all aerospace, civil, electronic and mechanical engineering. The first applications, at the turn of the sixties and seventies, concerned the integrity control of remote structural elements, such as foundation piles and submerged parts of off-shore platforms, but nowadays this type of monitoring is practiced on airplanes, vehicles spacecraft, ships, helicopters, automobiles, bridges, buildings, civil infrastructure, power plants, pipelines, electronic systems, manufacturing and processing facilities, and biological systems. This paper carries out an extensive examination of the theoretical and applicative foundations

of structural and seismic monitoring, focusing in particular on methods that exploit natural vibrations and their use both in the diagnosis and in the prediction of the seismic response of civil structures, infrastructure networks, and traditional and modern architectural heritage.

1. Introduction

Over the past three decades, the interest for structural diagnosis has seen an unprecedented growth in many engineering fields (Doebeling *et al.* 1996, Boller 2009). Unfortunately, theoretical and experimental studies have seldom translated into established techniques for real-world applications.

A monitoring system is generally conceived to record the variations of parameters that are deemed to be enough sensitive to the presence of damage, in order to support diagnostic or even prognostic evaluations. In this sense, the first critical issue is the definition itself of structural damage, which may include very different phenomena, e.g. cracks, corrosion, delamination and debonding, fiber pullout, fiber breakage and matrix cracking, fretting in crevices, slips, loose joints and fasteners, creep, buckling, penetration and plastic deformation, weld defects, residual stresses, etc.

The traditional diagnostic evaluation methods are known to be affected by a large series of technical drawbacks. Visual inspections are generally not performed frequently enough, which risks affecting their predictive nature. Moreover, they are neither exhaustive, because they do not allow the hidden defects or the invisible effects of an on-going damage process to be detected, nor are they objective, because the estimation is related to the subjective judgment of an expert who can be fallible. More objective evaluation techniques are often of a destructive kind, not being suitable for many applications, such as those for Cultural Heritage (CH).

Non-destructive evaluation (NDE), however, can count on several established techniques, such as: radiography, ultrasonic testing, acoustic emission, vibration-based methods, optical methods, thermography, electromagnetic testing, magnetic particle inspection, etc. Within the NDE family, often Non-Destructive Testing (NDT) refers specifically to techniques that are performed off-line and only after the damage has been located (Shull 2002). This means that, in the meanwhile, an excessive level of deterioration could have been reached. Moreover, diagnostic evaluations in this case are performed in a local manner and so provide information that only refers to a limited portion of the structure.

Modern NDE, including Structural Health Monitoring (SHM) systems, has the prerogative of overcoming these limitations by providing an exhaustive

depiction of the structural health state and easing the plan of maintenance and repair interventions.

SHM is a combination of words that has emerged around the late 1980s (Boller 2009) in homology with medicine. Although it is based on innovative measures, analyses, algorithms and communication techniques, SHM shares the same objectives as traditional approaches. The distinctive features of the new approach is rather the following:

- (i) differently from NDT, global quantities are basically monitored, the guiding concept being that of non-local (or remote) monitoring (it is no coincidence that the first applications refer to foundation piles and remote parts of offshore structures);
- (ii) online implementation is possible, at least in principle.

Farrar and Worden (2012) defined SHM as a process which involves the periodic monitoring of a structure through measurements, the extraction of features symptomatic to the phenomena under investigation and their statistical analysis to determine the actual state of the system. In real practice, a SHM system is the result of the integration of several sensors, devices and auxiliary tools, such as: a measurement system; an acquisition system; a data processing system; a communication/warning system; an identification/modeling system; a decision making system. Even if it is based on innovative measuring, analyzing, modeling and communication techniques, SHM can be considered as an extension of the well-established investigation practices since it integrates these novel technologies into a unique smart system.

Vibration-based SHM techniques, in particular, have long been used for damage identification in existing structures (Briard 1970, Loland & Mackenzie 1975, Ceravolo & De Stefano 1996). However, many issues require further investigations and still represent challenges that have to be undertaken. Above all, a new philosophy should be pursued, which comprises the importance of a rational design of the monitoring system. It must integrate a sensors network that is capable of carrying out a continuous or periodic surveillance and providing reliable analyses based on different information sources. The environmental and operating condition variability must also be taken into account.

To take a prominent example, monitoring practices play a crucial role in CH conservation (Ceravolo *et al.* 2019), providing first-hand data for decision making. The continuous and global structural knowledge, as well as the widespread and accurate information about the structural performance and integrity that only a monitoring procedure can achieve, favors the implementation of preventive conservation and the realization of ready and targeted interventions, limiting cost, invasiveness and reducing the risk of incurring irreparable damage.

2. Different approaches to SHM

Whatever the monitoring approach and technique, when designing a SHM system it is necessary to perform preventively an accurate analysis of the structural behaviour, in order to monitor the most expressive and sensitive parameters. The approaches to tackling an SHM procedure can be divided into two main classes: *model-driven* methods and *data-driven* methods.

Data-driven methods exploit monitoring data and adopt Pattern Recognition (PR), Machine Learning (ML), or other heuristic techniques, to create a statistical representation of the system from them (Worden & Manson 2006). Usually, data-driven approaches necessitate a huge amount of information coming from permanent monitoring systems, or from simulations when the structure's dynamic behaviour can be easily identified and reproduced. Moreover, statistical models of the system are easily defined, and noise levels and environmental variations are established naturally.

The model-driven methods, instead, apply an inverse approach to a law-based model, commonly referring to the updating of a Finite Element (FE) model (Friswell 2007). This process involves adjusting some parameters of the model to reduce the residual between experimental measurements and model predictions; then simulations and tests on the updated model help to deduce the damage in the structure. Approaches that are driven by high-fidelity models of the structure can potentially work without a validated damage model, but noise and other environmental effects are difficult to incorporate.

Model-driven methods correspond to axiomatic thus more general formulations, so much so that they constitute the traditional approach to engineering problems. However, models are often characterized by a large number of parameters, and their settings must be carefully evaluated, thoroughly understanding the underlying physics, e.g. checking that the values of the “healthy parameters” always maintain a physical meaning, as well as those set to simulate damage. The latter are very difficult to validate. The inevitable presence of errors, since the model by definition is a simplification of reality, is another issue that plagues this approach. Model-driven methods are also computationally heavy in that require multiple runs of a FE model to make predictions. Choosing the parameters to be calibrated will always imply that those not subjected to the same process are characterized by uncertainty. It must also be considered that even the best model may not reflect reality due to variations on the latter, compared to the data used in the calibration, for example due to environmental effects. These issues become even more serious when a historical structure is to be modelled. The uncertainties about the materials and their characteristics, the unusual geometry, the lack of knowledge on the

connections, on the interventions undergone and on the present crack pattern, create difficulties in defining laws for a generalized application.

System identification is the core of any model-driven SHM approach. Indeed, identification techniques and algorithms are indispensable in order to produce a realistic model of a structure, especially in the case of uncertain material properties and ill-defined structural schemes. In permanent monitoring systems, varied or anomalous parameters can be associated to damage, and reliability can be defined as a function of identified quantities that reflect the damage, referred to as symptoms.

Alternatively, especially when the analysed buildings present a complex structural scheme, a numerical model can be updated on the grounds of the identified parameters in order to simulate the real behaviour of the structure and to overcome uncertainties. Since in typical structural problems safety assessment relies on mechanical models, the engineer is prone to basing any final evaluation, prognosis or decision on results coming from an updated model, rather than on symptoms (Ceravolo *et al.* 2019).

3. System Identification

System identification refers to the development of structural models from input and output measurements performed on a real structure using sensing devices. Dynamic system identification is a major tool for monitoring and diagnosis of structures: experimental results from dynamic testing give knowledge about global structural behaviour and can be used in calibrating numerical models, in forecasting the response to dynamic and earthquake loading and can help in evaluating safety conditions (Natke *et al.* 1993, Ghanem & Shinozuka 1995, Maia & Silva 1998).

Even if the age of virtual prototyping has already started (Van Der Auwerker 2002), experimental testing and system identification still play a key role because they help the structural dynamicist to reconcile numerical predictions with experimental investigations. The term “system identification” is sometimes used in a broader context in the technical literature and may also refer to the extraction of information about the structural behaviour directly from experimental data, i.e., without necessarily referring to a model (e.g., identification of the number of active modes or the presence of natural frequencies within a certain frequency range).

3.1. Linear system identification

Linear system identification in its current formulation is a discipline that ideally was born within the control community (Ho & Kalman 1965, Aström &

Bohlin 1965) but has evolved considerably over the last 40 years (Soderstrom and Stoica 1989). Experimental modal analysis is by all means the most popular approach to performing linear system identification in structural dynamics. The modal model of the system is expressed in the form of modal parameters, namely natural frequencies, mode shapes and damping ratios. The popularity of modal analysis stems from its great generality; modal parameters can describe the behaviour of a system for any input type and any range of the input.

The field of linear system identification now offers a vast range of effective techniques. Over the years, time domain techniques have been used rather successfully, thanks to the great spectral resolution offered and to their modal uncoupling capability (Masri *et al.* 1982, Shinozuka *et al.* 1982, Natke & Yao 1986, Safak 1991, Safak & Celebi 1991, Peeters & DeRoek 1999, Loh *et al.* 2000, Ceravolo & Abbiati 2013). One of the basic shortcomings of these methods is that they often produce spurious modes, whose true nature, however, can usually be identified by means of simple modal form correlation indicators (Ewins 2000), or, as an alternative, with the aid of numerical models.

An important family of time domain methods makes use of time series autoregressive models and exploits the theoretical results coming from research in the field of system control (Ljung 1999). These techniques provide a very general and attractive formulation, and are frequently applied to civil structures. The most critical aspect resides in the computational complexity associated with applications to multi-degree-of-freedom (M-DOF) systems. The extension of the parameter estimation techniques to stochastic multi-variate models, in fact, is far from being trivial, and additional difficulties arise from local minimum points and algorithmic instabilities (Fassois & Lee 1993).

Among the deterministic methods, in addition to the historic Ibrahim Time Domain (Ibrahim & Mikulcik 1977), we should mention the Eigensystem Realisation Algorithm (ERA) (Juang & Pappa 1984), which, based on a Single Value Decomposition (SVD) of Hankel's matrix, has been closely studied in the literature (e.g. Lew *et al.* 1993), and the Polyreference Time Domain (PRTD) stemming from a generalisation of Prony's method (Vold 1982, Deblauwe & Allemang 1985).

Since the beginning of the nineties, there has been an increasing interest in so-called Stochastic Subspace Identification methods, in which statistical, algebraic and numerical concepts and algorithms cooperate, leading to user-friendly software for linear system identification (Zeiger & McEwen 1974, James *et al.* 1995, Peeters & DeRoek 1999). Contrary to classical algorithms, subspace algorithms do not suffer from the problems caused by a-priori parametrizations and non-linear optimizations. Van Overschee & DeMoor (1996) studied three different subspace algorithms for the identification of combined

deterministic-stochastic systems by stating a unifying theorem, of which the three algorithms are special cases.

For a description and classification of various input-output modal analysis techniques the reader may consult specialized texts (Heylen *et al.* 1997, Maia & Silva 1997, Ewins 2000). Unification of the theoretical development of modal identification algorithms has also been attempted, e.g. in Allemang & Brown (1998) and Allemang & Phillips (2004), this being a sign of the maturity of this research field.

Different is the situation with modal analysis algorithms that, being conceived to work with output data (output-only or input-unknown techniques), are of special interest for structures exposed to natural vibration (bridges, towers, buildings etc.). These issues in the nineties gave rise to a new research area, officially inaugurated in a special session of IMAC-XIV organised by Felber & Ventura (1996), which today is often referred to as “operational” modal analysis (e.g. Cunha & Caetano 2007, Brincker & Moller 2007, Reynder *et al.* 2008, Giraldo *et al.* 2009). In ambient vibration conditions, there is still a need to determine to what extent the use of these techniques in non-ideal conditions, as is in the typical case, is deemed acceptable, or whether it proves necessary to resort to techniques specially conceived for dealing with non-stationarity. Inherently non-stationary techniques include stochastic approaches (e.g. Yuen *et al.* 2002), time-frequency instantaneous estimators (e.g. Ceravolo 2004) or time-varying estimators (e.g. Poulimenos & Fassois 2006, Du & Wang 2009).

3.2. Non-linear system identification

Though the word non-linearity has a tautological character, a classification of possible sources of non-linearity is of practical interest in structural identification. A drawback in using this term in a survey is rather due to the vast range of problems and techniques that deserve a coverage (e.g. Adams & Allemang 1998, Doebling 2001). A first category includes identification methods using various strategies to by-pass non-linearity. Other methods can be framed respectively in the parametric and the non-parametric approach: in the former case, a priori selection of a specific model for the dynamic behaviour of the system is needed and the identification process consists of determining the coefficients for such model. Non-parametric methods, instead, do not require any assumption on the type and localisation of structural non-linearities but, generally, the quantities identified cannot be directly correlated to the system equation of motion.

3.2.1. By-passing non-linearity

Traditional techniques for analysing the dynamics of non-linear structures are based on the assumptions of weak non-linearities and of a non-linear modal structure that is similar or a small perturbation of the underlying linearised system.

Caughey (1959) proposed replacing a nonlinear oscillator with external Gaussian excitation with a linear one with the same excitation so that the mean square error between the actual nonlinear and linearized systems was statistically minimized. The procedure, known as equivalent linearization, works directly on the equations of motion. Many developments have been proposed after Caughey's work (Roberts & Spanos 1990).

This widespread approach has proved useful in most applications, particularly for the random vibration analysis of systems where the nonlinear restoring force is hysteretic. For experimental applications, the extraction of a linear model requires the knowledge of the functional form of the restoring force, which is generally not the case. Hagedorn & Wallaschek (1987) have developed an effective experimental procedure for doing precisely this. This work triggered the development of the concept of equivalent linear systems with random coefficients which has enjoyed some success for system identification of nonlinear systems (Soize & Le Fur 1997, Bellizzi & Defilippi 2003).

The harmonic balance method described by Nayfeh & Mook (1995) can be also employed for linearising nonlinear equations of motion with harmonic forcing. This method has been the basis of several nonlinear system identification techniques (Yasuda *et al.* 1988, Benhafsi *et al.* 1992, Meyer *et al.* 2003, Ozer *et al.* 2005, among others).

For multi-degree-of-freedom (MDOF) systems, a suggestive way to make a transition between linear and non-linear dynamics is through the extension of the normal mode concept of classical linear vibration theory to non-linear systems. Under particular conditions, the concept of nonlinear normal mode (NNM) was introduced by Rosenberg (1966) and developed by Vakakis (1997). The identification of individual NNMs may represent a limitation when considering the arbitrary motion of a non-linear system; in this case, the NNMs are bound to interact. Several authors have used other types of non-linear modes for the identification of non-linear systems from free vibration (Bellizzi *et al.* 2001, Hasselman *et al.* 1998, Hemez & Doebling 2001).

3.2.2. Parametric approaches

Apart from linearization techniques, which are usually parametric, a very straightforward strategy to obtain a typically parametric identification algo-

rithm is to extend the use of time series models (Ljung 1999) to non-linear systems. A suggestive extension is represented by NARMAX (Nonlinear ARMA with eXogeneous input) model proposed by Leontaritis & Billings (1985). The NARMAX structure is general enough to admit many forms of model including neural networks, although the estimation problem becomes non-linear and the orthogonal estimator will not work (Billings *et al.* 1991). In fact, the application of NARMAX to structures is extremely complex and no relevant applications to real structures are reported to date.

3.2.3. *Non-parametric approaches*

The Volterra series representation of the input/output relationship is one of the main tools for the study of weakly non-linear systems. In this theoretical framework the problem of identification boils down to the determination of higher order frequency response functions in the frequency domain, or higher order impulse response functions in the time domain, from experimental data. Usually, the methods based on the Volterra series representation are classified as non-parametric, as are all those that make use of non-linear functionals.

The structures can be tested applying loads deterministic (i.e. stepped-sine test) or stochastic in nature. In the latter case, there is quite an extensive literature about the techniques for identifying Volterra systems: one of the first attempts to determine the linear and quadratic frequency response functions of a quadratic system was performed by Tick (1961), under the assumption that system excitation is white Gaussian noise. The hypothesis of Gaussianity greatly simplifies the problem of identification but can lead to unrealistic results. This difficulty has been overcome with the formulation of identification methods which can be applied in conditions characterised by excitation with arbitrary spectral properties, defined both in the time domain (e.g. Koukoulakis & Kalouptsidis 2000) and in the frequency domain (e.g. Kim & Powers 1993). All these methods require the calculation of higher order statistical moments: in structural engineering applications it is not possible to obtain a number of experimental measurements large enough as necessary to get a consistent estimate of the statistical moments of interest. The availability of a limited number of experimental data can be obviated through the time-frequency representation of the signals and the definition of instantaneous estimators of the mechanical properties to be identified (Demarie *et al.* 2005).

It is worth underlining that the vast majority of identification techniques, especially non-parametric ones, admit heuristic extensions. In this regard, it

is necessary to mention neural networks, for their characteristics of universal approximation, and neuro-fuzzy models, for their semantic transparency (e.g. Juditsky *et al.* 1995, Sjöberg *et al.* 1995, Chassiakos & Masri 1996, Kosmatopoulos *et al.* 2001, Le Riche *et al.* 2001, Song *et al.* 2004, Liang *et al.* 2001, Fan & Li 2002).

3.2.4. Approaches based on instantaneous estimation

This class of methods was already considered in the 1960s for problems in acoustics and vibrations (Priestley 1967), but it is only from the 1990s that it gained widespread popularity within the structural dynamics community. A survey of the analysis of non-stationary signals using time-frequency methods is available in Hammond and & (1996), Hammond and Waters (2001), and Ceravolo (2009).

Feldman showed how to use the traditional definition of the analytic signal and the time-domain Hilbert transform in order to identify nonlinear models of SDOF systems. The FREEVIB approach proposed in (Feldman 1994a) is based on free vibration whereas the FORCEVIB approach proposed in (Feldman 1994b) deals with forced vibration. These approaches can be used to construct the instantaneous damping and stiffness curves for a large class of nonlinear systems, but are only suitable for monocomponent signals (Feldman 2007). A popular method for the decomposition of signals with multiple components into a collection of monocomponents signals, termed intrinsic mode functions (IMFs), is due to Huang *et al.* (1998) and is now referred to as Huang-Hilbert transform in the time-frequency literature. The IMFs are constructed such that they have the same number of extrema and zero-crossings, and only one extremum between successive zero-crossings. As a result, they admit a well-behaved Hilbert transform. The method has seen several applications to structural dynamics including linear system identification (Yang *et al.* 2003) and damage detection (Yang & Lin 2004).

The time-frequency representation is also suitable for the analysis of non-linear oscillations. Linear representations have been used for instance by Spina *et al.* (1996), Abbiati *et al.* (2013), Miraglia *et al.* (2021). An overview of the use of the wavelet transform in nonlinear dynamics can be found in Staszewski (2000), while interesting applications are reported by Newland (1999) and Erlicher & Argoul (2007), among others. Quadratic representations which include the Wigner-Ville distribution and the Cohen-class of distributions have also received some attention (Feldman & Braun 1995, Bonato *et al.* 1997, Wang *et al.* 2003a).

3.2.5. Identification of hysteretic and time-varying systems

Several contributions in the last decades were concerned with the identification of hysteretic models, in particular the Bouc-Wen (BW) model. Due to its great simplicity, related to the absence of an elastic domain, the BW model has been extensively used in the seismic analysis, both deterministic, e.g. Follente (1995), and stochastic, e.g. Casciati (1989). Chassiakos *et al.* (1995) and Smyth *et al.* (2002) proposed a parametric method in which the parameters of the BW model are identified through an adaptive procedure, based on the application of least square techniques of estimation. An alternative approach is due to Kyprianou *et al.* (2001), who introduced a differential evolutive method for the identification of the parameters, whose formulation in many respects comes close to that of genetic algorithms.

Classical non-parametric methods are based on the extension of the restoring force surface approach: Benedettini *et al.* (1995) approximated the surface of the time derivative of the internal restoring force on a polynomial basis, by assuming as state variables the force itself and velocity; Masri *et al.* (2004) extended this approach by proposing a polynomial base approximation of the restoring force as a function of velocity, displacement and the excitation. A similar approach may be also used to define instantaneous estimators of the system dynamic properties (Bursi *et al.* 2012, Ceravolo *et al.* 2013).

In the frame of non-parametric approaches, Pei *et al.* (2004) used a special type of neural network, which showed good performances in the identification of hysteretic systems. Saadat *et al.* (2004) formulated a hybrid approach that combines the potentials of both the parametric and non parametric approaches in a single identification procedure. Wu & Smyth (2006), among others, have successfully applied the Unscented Kalman Filter (UKF) to identify the parameters of hysteretic systems.

4. Corroboration of engineering models

Be it mathematical or physical, a model should always contain the essential aspects of the system it seeks to emulate, to understand the system in a comprehensive, but also exploitable way (Hesse 1963). To this end, modeling must be undertaken in distinct phases. The first is analysis, in which all possible information about the system is collected and analyzed. In the second, called synthesis, the information is critically analyzed to minimize unnecessary data. Then, in the modeling phase, the information that has passed the synthesis phase contributes to the construction of the model. In the final step, the model is used to extract new information about the system itself that could not be gathered without the use of the model.

Figure 1 shows the physical model of the Norfolk Scope Arena, Virginia, U.S.A. that, in 1969, was experimented in the wind tunnel of the Politecnico di Torino, and used to predict the behaviour of the building in strong storms.

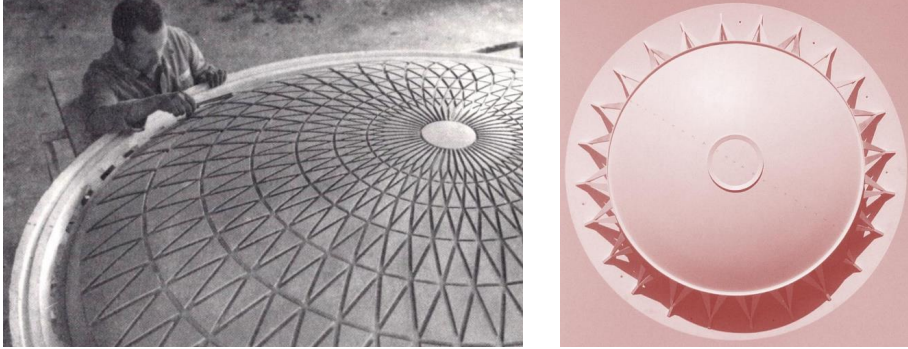


Fig. 1. Model of the Norfolk Scope designed by P.L. Nervi (Marchis 1988).

The correct reproduction of the occupied space is the basis of any model (physical or mathematical) of a system that admits a spatial representation. Nowadays, geometric modeling can rely on advanced techniques, such as the 3D laser scanner or others. All the information collected by surveys provides not only the geometric and dimensional characteristics of the structure, but also the classification of the elements and materials used. After the synthesis phase, a simplified geometric model can be used to build a mechanical model, such as a finite element (FE) model (e.g. Lenticchia *et al.* 2021).

As regards models, it is worth reporting an extract of a paper by Guido Oberti about testing physical models to investigate complex problems: «new methods, rather than obeying pre-conceived schematizations, prefer to approach the reality of the single case by reproducing their peculiar characteristics; thus, one does not hesitate to introduce into the model anisotropic materials for the foundations, constraints, joints and executive modalities in general. This, while making it harder to provide analytical interpretations and causing a certain dispersion of results in repeated tests (especially around discontinuities), allows for a more realistic and synthetic vision of the problem, and therefore more in keeping with the true aims of the experimental test» (Oberti 1966).

The relevance of these concepts is discovered every time it is necessary to corroborate numerical models that really reflect what was observed in the experiments conducted on real structures. After all, reality itself is constantly evolving, like the results of experimental tests, since both the system and the

surrounding environment undergo continuous changes. Therefore, a model should be designed to be updated and to incorporate new information.

As said, monitoring, whether continuous or periodic, can detect changes in system properties or the surrounding environment. For example, a change in ambient temperature is commonly reflected in deviations of the system's vibration modes. If this change is not only relatively small, but also periodic (e.g. seasonal) and persistent, it is said to be physiological. When using a mathematical or numerical model to predict a specific response, all physiological phenomena that bring a certain variability, and therefore uncertainty, should be incorporated in it, in order to allow a reliable comparison between the prediction of the model and the actual response of the system. If it is important to monitor the physiological behaviours of the system in the model, it is essential to incorporate the pathological ones. Pathological behaviour is due to a temporary or permanent change in an environmental condition that produces a permanent change in structural properties. An example of pathological behaviour is the permanent reduction of the natural frequencies of a system after an earthquake. When they occur, such pathological behaviours should be considered in models by updating the constitutive laws of materials, or even geometric and topological properties.

Physical models, while not suitable for representing structural systems when the scale of the reproduction becomes too small, are very effective in simulating extremely complex behaviours, especially if reproduced on a scale as close as possible to the original. On the contrary, numerical models prove effective in solving problems in which the theory corresponds well to the actual observation, e.g. linear elasticity, within the limits of instrumental or computational approximations. A synergy between numerical and physical models is obtained by the so-called hybrid modeling (Hakuno *et al.* 1969, Miraglia 2019). It consists of detecting the causes of the complex behaviour and splits the modeling into two parts: (i) a mathematical/numerical part; and (ii) a physical part. The latter is commonly a physical, life-size reproduction of a sub-part of the system, used to predict the complex non-linear behavior of the analysed system.

4.1. Corroboration of numerical models with experimental data

The corroboration of numerical models entails the acquisition of adequate knowledge on a structure, this being especially true for historic constructions.

Indeed, for historic and monumental structures, the concept of *path of knowledge* is introduced as: [...] *a series of standardised actions and aspects, which have to interact in order to achieve the desired level of knowledge of*

the building [...] (ICOMOS 2003). More specifically, the procedure to produce a predictive model must start with a historic analysis from a social, environmental, and structural point of view (first step). The second step is to collect the main data for the building and surrounding territory. This data regards the geometry, details, materials and other types of data, such as the dynamic characteristics of both building and soil.

Having in mind the scope of the mathematical model, it is then possible to select the type of model (e.g., scale, level of accuracy, etc.). The idea is to predict one or more desired outputs for decision making. Moreover, the model should be able to incorporate new data, e.g. from periodic or continuous monitoring.

4.2. Dynamic characterization

Vibration measurements allow to go back to the structural behaviour of the building system with reduced costs and minimally invasive actions, which is important when the necessity to preserve the material integrity becomes truly significant; moreover, in comparison with other investigation techniques, they provide information on the global behaviour of a structure (e.g. Ceravolo *et al.* 2016).

The test design should be supported by the preliminary numerical models, possibly after translating into the FE at least the information gathered during the archival research and the geometric survey.

In permanent monitoring systems, varied or anomalous parameters are directly associated to damage, and structural reliability can be defined as a function of identified quantities that reflects the damage, referred to as symptoms. In alternative, a numerical model (e.g. a FE model) can be updated on the grounds of the identified parameters.

4.2.1. Sensitivity analysis

Once the numerical model is set up, a sensitivity analysis can be performed on the numerical model of a structure to determine which parameters are the most important and most likely to influence the behaviour of the system. Following a local (Mottershead & Friswell 1993) or global sensitivity analysis (Santelli *et al.* 2008, Boscato *et al.* 2015), the parameters with negligible effects can be ignored or simplified. The selection of the parameters must still be performed with a critical sense, as sometimes some parameters are not very sensitive but nonetheless directly related to the damage.

Sensitivity analysis results in reducing the computational burden of the calibration procedure, which in many cases would be unmanageable. In fact,

the most important class of “penalty” model updating methods is sometimes also referred to as “sensitivity-based”.

4.2.2. Optimal sensor placement

Optimal Sensor Placement (OSP) methods consist of selecting the optimal position and directions in which to place the sensors on the structure (e.g. Lenticchia *et al.* 2018, Murugan *et al.* 2019, Civera *et al.* 2021). This is necessary since vibration-based techniques must implement sensors (mainly accelerometers) to record environmental vibrations. Factors such as cost, accessibility, energy availability, etc. actually limit the number of sensors that can be used for this purpose. Most conventional sensor positioning algorithms aim to make the numeric modal forms captured by the monitoring system linearly independent.

In relation to a possible automation of the positioning procedures, it must be said that the OSP procedures are affected by the presence of errors and uncertainties, and this is even more true when the structure in question presents great complexity, for example geometric or mechanical (e.g. CH structures). In these situations, the OSP must be verified in the field, in order to validate or correct the numerical prediction based on the experimental evidence that the models are unable or difficult to simulate.

4.2.3. Experimental modal analysis

After the OSP phase, the experimental setup can be designed and the sensors installed on the structure. The records (e.g. acceleration signals) are processed by specific algorithms that eliminate experimental errors/artifacts and components that are not relevant for monitoring (data cleansing). Other effects are also considered during this preliminary phase, such as the effects of Environmental and Operational Variations (EOVs), which can influence the estimate of the modal parameter of the system. The estimation is performed with vibration-based techniques, such as Experimental Modal Analysis (EMA) or more often (given the difficulty of exciting a full-scale structure) with Operational Modal Analysis (OMA), therefore with unmeasured natural excitation (output-only). The modal parameters reflect the mass, the stiffness and the dissipative capacities of the structure. Significant deviations in modal parameters identify changes in the structure, with the possibility of detecting and/or quantifying the damage through Vibration-Based Damage Detection (VBDD) techniques (De Stefano & Ceravolo 2007, Ramos *et al.* 2010, Russo 2012, Ceravolo *et al.* 2016).

4.2.4. Model updating

Experimental information on the modal properties of a structure (i.e., natural frequency, damping, mode shapes) makes it possible to enhance the predictive capability of a numerical model. This activity is referred to as *model updating*. It consists of updating the significant mechanical parameters of a numerical model, in order to make the predicted structural response consistent with the modal response experimentally identified in a previous phase.

Model updating methods can generally be subdivided into two categories based on direct and iterative approaches. Both methods are discussed in the literature (Mottershead & Friswell 1993). Direct methods, which are commonly used for simple systems where a closed formulation is available, update all the model parameters in one step. On the contrary, iterative methods are currently exploring the use of optimization algorithms to resolve the inverse problem of parameter calibration.

In order to distinguish between different types of iterative calibration, Modal Model Updating (MMU) is often used when the global system mass and stiffness matrices are updated from experimentally identified modal quantities, typically limited to frequencies and modes, as modal damping data show higher dispersion. However, more generally speaking, the FE model calibration process may consider parameters belonging to different physical fields, such as Thermo-MEchanical Model Updating (T-MEMU), where the thermal and mechanical parameters are updated in a holistic framework (Cervolo *et al.* 2020).

The possibility that a numerical model is updated continuously and indefinitely, using experimental and multiphysics monitoring data, may in principle lead to the definition of a digital twin with predictive capabilities, at least in the mechanical sense of this term.

4.2.5. Predictive models and realization theory

The simple observation that a model has been updated or calibrated with respect to some parameters, possibly minimizing a cost function, does not imply that it has also acquired predictive capabilities. The predictive capabilities must be demonstrated on the basis of physical interpretations and experiments, in which case the updated model will be said to have been verified. A predictive numerical model can be used for high levels of SHM, i.e. in the prognosis and estimation of the residual life of a structure.

Speaking about prediction, a suggestive example is the on-line correction of models used in control engineering, from measurements of the input and/or of the response of the system. In this case, state observer models are intro-

duced that are fed with on-line measurements and updated accordingly (Inman 1989, Juang 1994). Determining all the matrices of the state observer model is referred to as system realization (Ho & Kalman 1965).

In linear time-invariant systems, the state observer model provides, among other things, on-line estimates of natural frequencies, damping ratios, and mode shapes of a vibrating structure. A more challenging case is when parameters to be identified are inherently time-varying (e.g. an instantaneous frequency, degradation in stiffness or strength etc.) without a predefined evolution law. In this situation appropriate methodologies apply, such as time-frequency estimators (Ceravolo 2004, Ceravolo 2009), or extended or unscented Kalman filters, etc. (e.g. Wu & Smith 2006).

5. Machine learning approaches to Structural Health Monitoring

In the data-driven SHM approach, a structure is often conceived as an empirical system associated with an input-output relationship. Not taking into account the existence of a state space, such an approach is unable to exploit some fundamental properties of mechanical systems (causality, linearity, etc.) or to solve the problem of realization. However, the system realization is not always required in diagnostics, as the problem reduces to the evaluation of symptoms revealing the presence and nature of a fault, so that one can define it as “model recognition” rather than “identification”. This entails the need to select a suitable set of input and output parameters and to determine the number of tests to be performed for a univocal identification of damage. In practical applications, the tendency is to use a large number of input and output parameters and the largest possible series of tests. Syntactic, statistical, and especially neural PR can naturally meet these requirements and, in fact, these strategies began to be applied to SHM since the early nineties (Ceravolo *et al.* 1996).

Recently, in SHM, as in other engineering sectors, ML techniques have begun to spread, aimed at synthesizing and generalizing data by extracting information to base a decision-making process (Farrar & Worden 2012, Figueiredo *et al.* 2011, Flah *et al.* 2020, Smarsly *et al.* 2016). ML emulates the learning ability of human by using computers to acquire knowledge and skills automatically and learning to refine continuously its performance, achieving self-improvement. The goal is to find intrinsic relationships in the available data, thereby predicting unknown data or judging its characteristics. For example, in the monitoring of civil structures ML aims to associate certain diagnostic characteristics measured on a building with a structural condition, both phys-

iological and pathological. However, generalization remains the most critical aspect.

From the perspective of the theory of knowledge, ML is very similar to human learning (Mitchell 2000). Both machine and human learning are knowledge-increasing processes and both algorithms and humans aim to become intelligent. However, the following differences can be highlighted:

- Human learning is a long-term process; ML is generally fast and short.
- Human beings are forgetful and can only remember some knowledge while machines can remember all knowledge it has learned.
- Knowledge is not transportable for human learning, i.e. a person's knowledge cannot be copied directly to another. ML can copy the knowledge learned into any other system.
- A distinct characteristic of human learning is generating ideas in a best way, while the ideas obtained by ML are usually not the best.
- The connection and inspiration of humans are complex to be simulated by a machine. Human learning can be of jumping style, while ML always follows rules docilely. This is caused by the different logics followed by human learning and ML, respectively.

In SHM, the basic idea is to learn from the training dataset a relationship between these characteristics and the presence/type of damage, and then re-apply it thereafter on new, unknown data. Integrating these methodologies into a procedure for monitoring would allow the process to be automated by minimizing the intervention of an expert operator. A well-calibrated algorithm should even exceed the performance of an operator, having the speed and computing power of a machine able to easily handle large amounts of data, even high dimensional ones, and not being subject to human error.

Some key concepts of ML from SHM's point of view are recalled below. For more detailed information on the general theory of ML and PR, reference can be made to Bishop (2006).

5.1. Supervised vs. unsupervised Machine Learning approaches

ML falls into two macro-categories: those of supervised learning and those of unsupervised learning. The difference between them lies in the availability of the output, or *labels*, in the training phase of an algorithm.

In supervised ML, labels are available and the algorithm can learn a relationship between them and the measured data, with the intent of applying it to new, unknown data to predict their labels. Depending on the type of label, the algorithm can address two tasks: classification or regression. A supervised classifica-

tion problem is addressed when, given a single or multidimensional data set, the goal is to assign a discrete class (marked by a label) to each data; for example, in SHM classes are generally represented by a diagnosis, for example “normal condition” or “damaged condition” (in the best case each class indicates a type of damage). In regression problems labels are one or more continuous variables but the basic idea is analogous to that of classification. Regression apply to SHM, for example, to formulate a diagnosis based on specific predictor variables, which can be other diagnostic parameters (homogeneous or inhomogeneous with those predicted) environmental or operational variables. The prediction of the behaviour of a structure under normal conditions offers the opportunity to make a comparison with the one actually measured, from which important differences should emerge if the structure deviates from its usual behaviour.

In an unsupervised problem there are no training labels available, so the ultimate goal cannot be, as in the previous case, to associate a concrete meaning to the data, but to draw relevant information from them. Among the possible strategies, when there is no labelled data, there are clustering analysis and anomaly detection analysis. In clustering, the data is observed by the algorithm and a logical grouping is derived from it rather than forcing the grouping, as in the previous cases, in accordance with the categories that are attributed to it externally. The other task, namely anomaly detection, also called novelty detection, or outlier analysis, is of great interest for SHM. If data from the normal conditions of a structure are available, it is possible to make a statistic. At that point, all the data subsequently collected can be tested to see if they conform in some way to the normality model; otherwise it can be said that the non-conformity will correspond to a damage.

5.2. Training data

In ML three phases can be defined: training, validation and test. Training datasets are supplied to the algorithm with or without the corresponding outputs, depending on the type of problem to be addressed. The model evaluates the data and uses them to define its parameters, with the aim of building a model that also generalizes well the new data, unknown to the algorithm.

In some supervised problems validation is expected on a small set of labelled data, which however is not yet used for training. This is mainly done to avoid the phenomenon of overfitting, i.e. that the algorithm adapts too much to the training data and therefore fails to generalize. This validation dataset is used to adjust some parameters of the algorithm (feedback), before it becomes definitive. The test dataset, on the other hand, is the one on which the algorithm, already trained and validated, will be applied, in order to provide

labels, discrete or continuous, define the cluster to which it belongs and detect a certain novelty.

5.3. Transfer Learning

The generalization of data complex and rich in information of various kinds should be addressed recurring to strategies that can handle high-dimensional data and the presence of outliers, and provide satisfactory performance even in the case of relatively few examples for training. Yet the application of current ML techniques alone would not be able to manage the differences that inevitably exist between real structures.

The Transfer Learning (TL) theory addresses precisely the problem of the limitation of labelled data, but in this case the data used for training and testing can belong to different “domains” and do not have the same distributions and tasks (Dai *et al.* 2007, Pan & Yang 2009, Taylor & Stone 2009, Weiss *et al.* 2016). The concept behind TL is very simple and unconsciously applied in many daily practices. For example, gaining experience to ride a motorcycle simulator can definitely help you ride a real motorcycle. TL is a convenient way to deal with the problems in which one wants to investigate a little-known system, jointly using a lot of information available from another system, which is somehow related to the first.

The use of TL in SHM is mostly motivated by the lack of labelled data belonging to damaged conditions or to particular operational conditions of that structure, which may not be present in the training set. For many structures, in fact, measurements relating to damage cannot be obtained concretely. In other cases, although obtainable, the labelled data relating to damage are expensive and can take a long time; for example, the labelling of data belonging to a damaged condition requires advanced and specific professional knowledge in structural engineering. The sources for TL include any built heritage, settlement and installation whose structural reliability is affected by degradation or natural and manmade hazards.

In this approach, two domains are defined: a source and a target domain. The first $\mathcal{D}_S = \{\mathcal{X}_S, P_S(X)\}$ contains the labelled data, i.e. the information we intend to transfer. The target domain, $\mathcal{D}_T = \{\mathcal{X}_T, P_T(X)\}$ instead, contains data that come from the system to be investigated. Each domain is associated to a task, defined as a function of a label space and an objective predictive function that can be used to predict the corresponding label. In general, if two domains are different, either their feature spaces or their marginal probability distributions differ, and for this reason the classification algorithm may fail to classify moving from one domain to another. TL aims at improving the

learning of the target predictive function using the knowledge acquired in the source domain (Coletta *et al.* 2020, Coletta 2022).

6. The role of SHM in the conservation of cultural heritage structures

Historical constructions consist of a large variety of building technologies, stylistic canons, materials, and *rules of art*, which may differ according to the time period and geographical areas. Inspection and diagnosis of structures have been practised for years, and have been now established as important means for the safety assessment of CH. Indeed, the international deontological guidelines, such as the ones from International Council on Monuments (ICOMOS-ISCARSAH 2003), define the rehabilitation process of heritage structures similarly to the treatment of a human disease: «the heritage structures require anamnesis, diagnosis, therapy and controls, corresponding respectively to the search for significant data and information, identification of the causes of damage and decay, choice of the remedial measures and control of the efficiency of the interventions», an operation that calls for a multi-disciplinary approach.

In more detail, a CH structure requires a path of knowledge articulated in phases: general identification of the structure within its environment factors; collection of geometric and structural information; identification of the materials and their state of conservation, historical documentation; mechanical characterization of the materials by means of different investigation techniques; soil and foundation analysis, and relevant monitoring activities. The documentation process, in particular, will cover aspects such as construction defects, deterioration, irregularities, damage produced by previous events (anamnesis), and in general any factor that makes each of these structures unique and involve a greater degree of complexity when interpreting the structural behaviour (Ceravolo *et al.* 2016). ICOMOS standards also emphasize the importance of periodic building inspections as a primary tool for conservation.

In the light of the above mentioned concepts, inspection and monitoring activities play a fundamental role in both assessment and conservation processes of CH (Ceravolo *et al.* 2019, Lorenzoni *et al.* 2016).

While accurate evaluations in terms of bearing capacity normally entail destructive testing, very seldom sampling is allowed in the case of CH structures. Inspections, by means of endoscopes, thermographs, radar, metal detectors; physical measures, via sonic tomography; or geometric measures by photogrammetry, or other technologies, can be executed periodically to improve the knowledge level and to reduce the uncertainties. Spectrometry and

false colour images can reveal chemical degradation. Unfortunately, all these surveys and measures, while increasing the knowledge level, provide only local information.

The introduction of modern SHM techniques, on the other hand, has led to the growing diffusion of permanent monitoring systems. The latter make it possible to measure and record the dynamic response of structures daily and during seismic events, and transmit these records to seismic network databases for the purposes of damage detection and emergency management. As an example, the Seismic Observatory for Structures (OSS), set up at the end of the 1990s within the Italian Department of Civil Protection, is a nation-wide network for the permanent monitoring of the seismic response of strategic public buildings in Italy (Dolce *et al.* 2019). More generally, a seismic SHM network aims at providing, in the aftermath of an earthquake, a rapid estimation of the seismic damage suffered by the monitored buildings and, plausibly, by similar neighbouring constructions, helping in planning and managing emergency activities.

The availability of simple and direct relationships between modal parameter deviations and presumed damage levels, as determined for different building types, is of the utmost importance for the practical usability of the data collected by seismic SHM networks during seismic events. Yet, it is well known that even undamaged structures may exhibit significant variations, or wanderings (Ceravolo *et al.* 2017), of their dynamic characteristics as a consequence of response nonlinearities and/or time-varying environmental conditions, which makes the problem of reliably inferring damage from modal deviations still an open research issue.

6.1. Environmental effects

Structural diagnosis features are known to be influenced by some Environmental and Operational Variations (EOVs), which cause fluctuations that can be confused with the appearance of damage, or worse, hide it (Deraemaeker *et al.* 2008, Ubertini *et al.* 2017, Coletta 2019). Among all fields of SHM, the issue of environmental variations mainly concerns civil structures, which by their nature are totally exposed to climatic conditions and, in fact, many studies on these effects have been carried out using signals from historical structures and bridges (Barsocchi *et al.* 2020, Cabboi *et al.* 2017, Catbas *et al.* 2008, Gentile *et al.* 2019, Ni *et al.* 2005).

The analysis of environmental time series, treated with mathematical and statistical tools, can lead to mechanical interpretations of the observed struc-

tural behaviour, especially in terms of correlations between different factors affecting measurements. Therefore, these data are deemed relevant in the practice of long-term monitoring of CH.

In data-driven SHM, environmental effects are an important issue for the choice of training data (Coletta 2022). In fact, the more experience the algorithm accumulates with respect to the variations given by environmental conditions, the more easily it will be able to recognize them and distinguish them from damage. In fact, generally the best choice when selecting a training set within an available dataset is to include important climatic variations, such as snowfall, wide temperature and humidity ranges and other phenomena that will affect the behaviour of that specific structure.

6.2. Perspectives in the use of satellite data for SHM

Differently from other engineering fields (e.g. aeronautical, mechanical, aerospace, etc.), the civil structures are in most cases connected directly to the ground, being strongly affected by the foundation soil, its characteristics and evolution. This is especially true for the diagnostic parameters, including vibration modes or other quantities that are typically monitored in CH buildings.

Some recent research works (Cavalagli *et al.* 2019, Delo *et al.* 2022, among others) have focused on exploiting interferometric satellite data obtained from radar instruments, e.g., Synthetic Aperture Radar (SAR), to detect displacements on the Earth's surface in the order of centimetres and millimetres. Also hyperspectral and multispectral sensors, mainly employed for environmental monitoring (i.e. fires, glaciers, droughts, etc), were recently proposed to integrate SHM operations (Coccimiglio *et al.* 2022).

As said in the previous section, the behaviour of an exposed structure depends on EOVs. These factors act directly on the structure, but also affect its foundation soil, altering and modifying its properties. Decoupling the two effects is very difficult as many causes (rain, snow, ice, temperature variation, humidity, etc.) could act in combination and, in some cases, the relationships between variables are complicated. In this sense, satellite data constitute a source of information regarding the state of the soil, as they are available on almost the entire surface of the planet continuously from several online platforms.

7. Examples of structural and seismic monitoring of historical and contemporary buildings

7.1. Static and dynamic continuous monitoring of the world's largest oval-shaped masonry dome

The construction of the Sanctuary of Vicoforte (Fig. 2) began at the end of the 16th century on a project by Ascanio Vitozzi. For decades the construction stopped at the level of the shutter of the dome. Only at the beginning of the 18th century, the project was taken up again by the architect engineer Francesco Gallo, who saw the construction of the high drum and the majestic dome, the largest oval-shaped masonry dome in the world with internal axes of 37.15 and 24.80 meters. An iron ring system was also put in place, consisting of three rings of bars with a total section of about 140 cm², which was intended to absorb a component of the horizontal thrust. The dome was disarmed in 1732 (Cozzo *et al.* 2017).

After the exhaustive surveys and reports by engineer Martino Garro (1962), the structural criticalities of the building led to the decision to undertake investigations and research. However, it was only in the late 1970s that the scientific community began to systematically investigate the structural health of the Sanctuary.

At the beginning of the 1980s a hooping system was installed to avoid the widening of the crack pattern localized above all in the dome-drum system. The system consists of four high-strength steel bars in each of the 14 tangential directions. Contrasting steel frames connect the heads of the bars of two adjacent stretches. The tie-bars, slightly tensioned at 50 kN by jacks, were re-tensioned in 1997 to compensate for the physiological load losses (Chiorino *et al.* 2008).

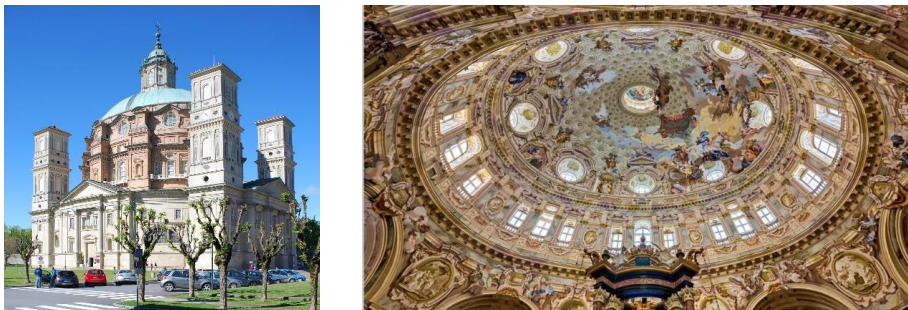


Fig. 2. The Sanctuary of Vicoforte: external and internal view of the dome.

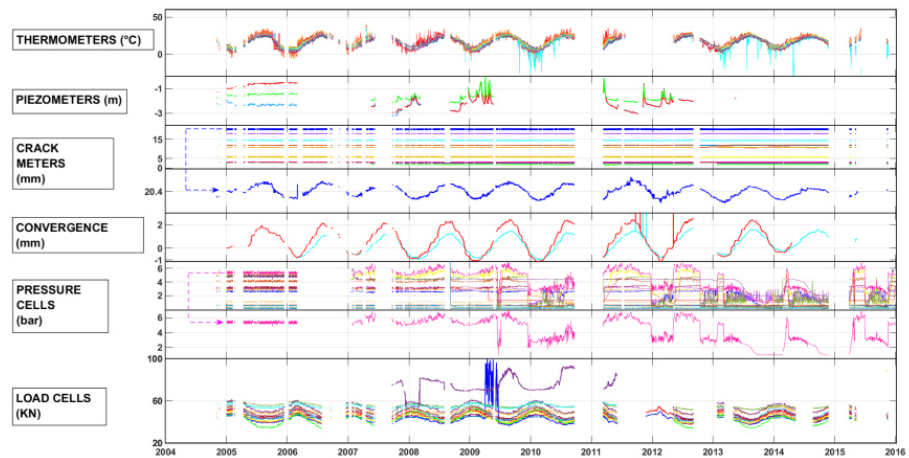


Fig. 3. Static monitoring data. From the top to the bottom: thermometers, piezometers, crack meters (all and a selected time series), convergence, pressure cells (all and a selected time series), load cells.

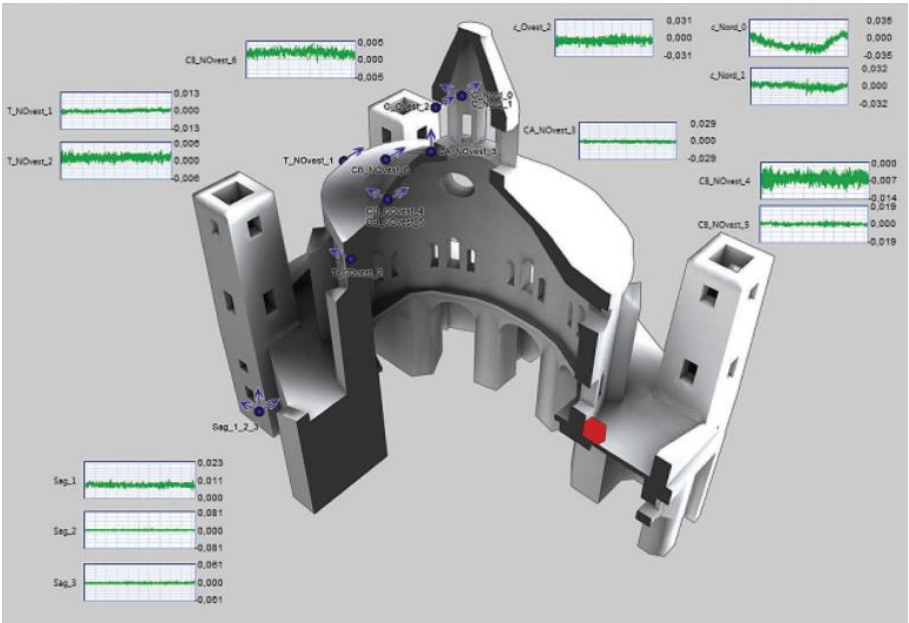


Fig. 4. Layout of the dynamic monitoring system installed in the Sanctuary.

Geological and geophysical investigations, conducted between 1976 and 2008, have confirmed that different materials make up the subsoil of the Sanctuary (Scandella *et al.* 2011). A layer of marl slopes downwards from north-east to southwest, while a layer of clay is present under the rest of the building, causing serious crack patterns.

The monitoring activity on the Vicoforte Sanctuary began in 1983 with the installation of instruments to investigate the evolution of the crack pattern. Since then, the static monitoring system has undergone several updates, until the last one in 2004 when the acquisition procedure was automated. This monitoring system consists of 133 instruments which are specially placed on the dome-drum system. The sensors can be divided into two main groups.

The first group, for the measurement of strains, stresses, and cracks, includes: 12 crack-meters to check the evolution of the cracks; 20 horizontal pressure cells to define the stress in the dome and in the eight pillars; 1 vertical pressure cell near the top of the dome above the main meridian crack (northern side) to measure the circumferential compression stress; 56 load cells installed on each tie-bars to control its load condition; 2 orthogonal wire gauges measuring the main axes of the dome at its impost to assess the building overall geometry; 12 nails for additional manual measurements of convergence. The second one, for the measurement of the environmental parameters, includes: 25 temperature sensors; 3 piezometric electric cells; 1 hydrometer.

As it can be seen from Figure 3, many of the recorded static parameters show seasonal fluctuations. Some interruptions are also visible, since the static system has undergone periodic malfunctions over time, due to several environmental (thunderstorms and lightning) and technical factors (problems with the electrical box). Finally, over the years, some devices have started to show anomalies caused by local phenomena or sensor failure. For instance, the pressure cells seem to have collected reliable data up to about 2009.

Data acquired from ten years of monitoring activities (November 2004 to November 2014) have been analysed by Ceravolo *et al.* (2017). The aim of these analyses was to check the damage state of the building and to verify the effectiveness of the 1987 strengthening system. From the analysis of the crack openings, ten years of monitoring data show the seasonal influence of the temperature on the structural behaviour of the Sanctuary and the substantial stability of the monitored parameters, demonstrating the efficacy of the tie-bar system.

However, the static monitoring system only provides local information about the health state of the Sanctuary. Consequently, a permanent dynamic monitoring system, designed through a model-based optimal sensor placement procedure (Pecorelli *et al.* 2020), was installed in December 2015 to in-

investigate the global phenomena affecting the structure (Fig. 4). The positions of the 12 mono-axial piezoelectric accelerometers (PCB Piezotronic, model 393B12, seismic, high sensitivity, ceramic shear ICP® accel., 10 V/g, 0.15 to 1k Hz, Resonant Frequency $\geq 10,000$ Hz, Overload Limit ± 5000 g pk, Temperature Range -50 to $+180$ °F) were defined through optimal sensor placement techniques. As shown in Fig. 4, three orthogonal accelerometers are located at the base of the crypt to record the ground accelerations (Sag_1, Sag_2, Sag_3).

A set of nine accelerometers are located at different levels of the lantern-dome-drum area, along longitudinal and transverse directions. In more details: (i) two accelerometers are at the base of the dome at 30 m height (T_NOvest_1; T_SOvest_2); (ii) three sensors are on the dome at 45 m height (CB_SOvest_4, CB_SOvest_5, CB_NOvest_6); (iii) one vertical accelerometer is located at the base of the lantern at 50 m height (CA_NOvest_3); and (iv) the last three accelerometers are located at about middle height of the lantern (CB_Ovest_2, C_Nord_0, C_Nord_1).

The acquisition system is designed as a master/slave scheme to limit the distortion due to cable length that becomes significant over 50 m length. The data acquired by the accelerometers in the crypt are transmitted to the slave unit, and then to the master unit; the data recorded by all the other instruments converge directly to the master unit. A GPS receiver is used to synchronize the time of all the instruments. The acquired data are transmitted to the Earth-

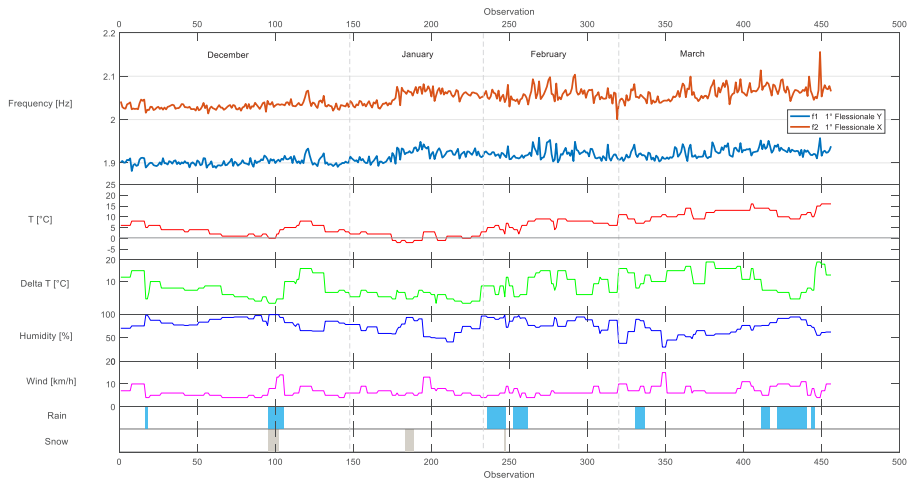


Fig. 5. First two frequencies, temperature, ΔT , humidity, wind, rain and snow (from the top to the bottom).

quake Engineering and Dynamics lab of the Politecnico di Torino and to OSS (Dolce *et al.* 2019).

The acquisition system was set to record data according to two criteria: (i) a time criterion and (ii) a threshold criterion. In details, the first criterion implies to record data for 20 min every hour, also in order to limit data storage, whereas the second criterion entails to record the accelerations when the ground horizontal acceleration exceeds a pre-set value (acceleration measured by sensors Sag_2 and Sag_3). This value is set in accordance with the seismic hazard of the area defined by the Italian regulations. More specifically, the pre-set value is 0.042 g, that equals the PGA related with the Damage Limit State and a return period of 50 years. The aim of this last criterion is to record the dynamic response of the Sanctuary during seismic and other dynamic events.

The data recorded by the dynamic monitoring system are automatically processed to estimate the main frequencies and modal shapes of the Sanctuary. The code implemented in Matlab® was updated to give the same results of the identification procedure that is performed manually by an expert operator. In automatic identification procedures, a cluster analysis is used to group the possible physical modes into homogeneous sets representing the same physical mode.

The systematic dynamic and seismic monitoring of the lantern-dome-drum system of the Sanctuary started in December 2016. Some sample data limited to the first two translational modes are reported in Figure 5, together with environmental data (Pecorelli *et al.* 2020).

7.1.1. Monitoring data analysis

A systematic analysis of the static and dynamic monitoring data, with correlations among different measurements, including environmental time series, has been recently published (Ceravolo *et al.* 2021).

The results of the correlation analysis confirmed that both the static and dynamic behaviour of the Sanctuary are greatly influenced by variations in the ambient temperature, while no significant correlation is observed with other environmental phenomena taken into consideration, such as humidity and rain. The highest coefficients among the static data relate to the temperature of the masonry, of the load in the tie-bars and of the crack gauges. The coefficients indicate that the increase in the external temperature corresponds to an increase in that of the internal masonry and a delay is observed in the time series that varies from 10 to 30 days depending on the position of the sensor, due to the thermal inertia of the material.

The increase in temperature causes the opening of the cracks at the level of the balcony, which is accompanied by a decrease in the load in the bars (Fig. 6). This can be motivated by the fact that the steel of the bars expands more than the masonry, as indicated by the difference in their coefficients of thermal expansion. In this situation, the bars tend to compress and consequently the tension decreases. Strain gauges records suggest that the masonry of the dome expands in the summer months and closes in cold periods, i.e. the measurement of the elongation of the axes shows a trend directly proportional to the external temperature.

On the other hand, as shown on the right side of Figure 6, the first five frequencies tend to increase with increasing external temperature, except for very low values: a bilinear behaviour with slope inversion is observed for negative temperature values, as also observed in other case studies (e.g. Gentile *et al.* 2019, Kasimzade 2018, Peeters & DeRoek 2001). A plausible interpretation, concerns the effect of ice, which is known to significantly increase structural rigidity (Peeters & DeRoek 2001).

Again with reference to Figure 6, a counter-intuitive observation emerges from the comparison between dynamic and static data. It can be noted that the increase in the vibration frequencies for high temperatures corresponds to the increase observed in the opening of the crack and the decrease in the load in the post-tensioned bars. This calls into question different and not modelled phenomena, including micro-cracks, or possibly seasonal cycles of the soil, also because the observation refers in particular to the first modes.

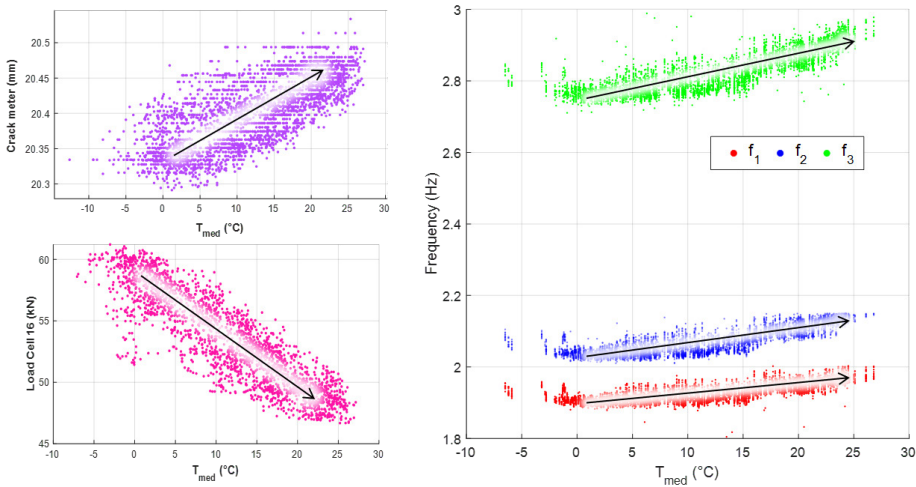


Fig. 6. Comparison of the results coming from the static and the dynamic monitoring systems.

7.1.2. Model-driven SHM

The first model updating of the Sanctuary was based on the results of a dynamic test campaign conducted in 2008 (Chiorino *et al.* 2011). Successively, in order to consider the structural, typological and historical peculiarities of each component of the structure, a more accurate FE model was built that consisted of 9 homogeneous macro-elements: 7 for the building (lantern, dome, drum, basement, buttresses, bell-towers and tie-bars) and 2 for the soil (marl and clay), as shown in Figure 7.

Then a thermo-elastic updating was performed using multiphysics data, including the thermal analysis to obtain the temperature distribution of the drum-dome system as related to the forces acting in the tie-bars (Ceravolo *et al.* 2000). This distribution was determined by applying local temperature measurements to the thermal FE model. The temperature distribution obtained for the drum-dome system was then used as the input for the successive T-MEMU. The thermal analysis was performed on the partial FE model of the Sanctuary. In detail, this model was limited to the upper macro-elements: lantern, dome, drum, buttresses, tie-bars (see Fig. 7). A 4-node shell element

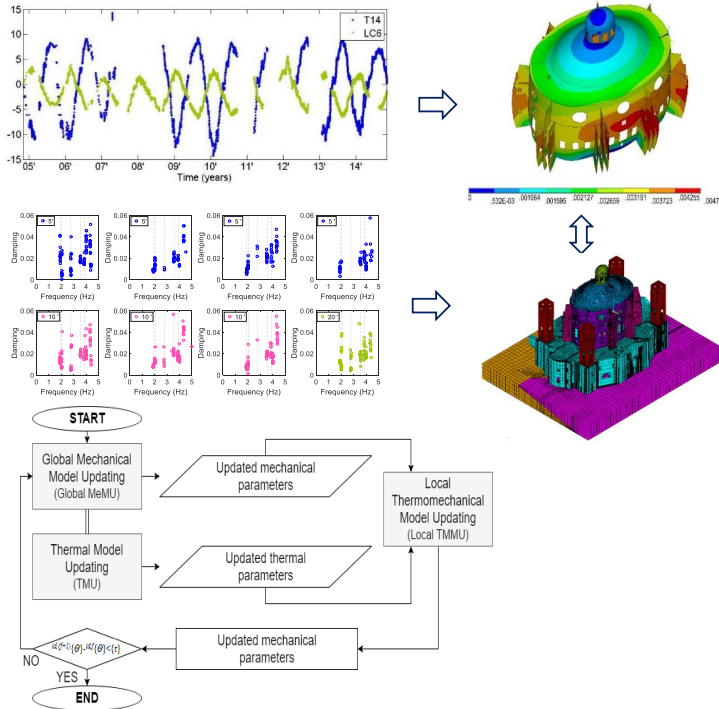


Fig. 7. The FE model of the Sanctuary and updating flowchart.

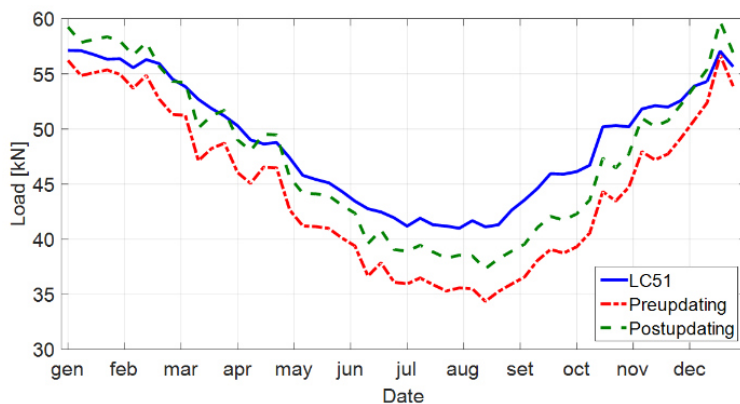


Fig. 8. Pre- and post-updating load trends associated with data acquired by a load cell LC51.

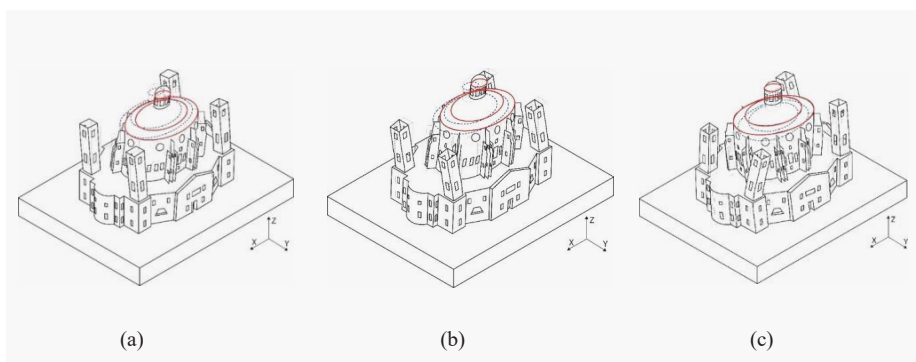


Fig. 9. First three FE modal shapes of the Sanctuary of Vicoforte: (a) 1-Y, (b) 1-X, (c) 1-T. Dotted lines identify the undeformed configuration at the dome level.

was used to model the lantern, the dome, the drum and the buttresses. This is a layered shell element having in-plane and through-thickness thermal conduction capability, suitable for conducting static and transient thermal analysis. The tie-bars of the strengthening system were modelled using 2-node beam elements. Both materials, masonry and steel, were assumed to have isotropic thermal conductivity. For the conductivity parameter, typical values were K_c assumed, whilst the mass densities were the same ones used in the preliminary model calibration.

Macro-element	E (GPa)		ν (-)		ρ (Kg/m ³)	
	pre.	fin.	pre.	fin.	pre.	fin.
Bell-towers	2.00	4.50	0.35	0.35	1800	1800
Basement	2.90	2.00	0.35	0.35	1800	1800
Buttresses	2.70	5.50	0.30	0.30	1700	1700
Clay	0.55	0.75	0.35	0.35	1900	1900
Dome	5.90	5.50	0.35	0.35	1800	1800
Drum	2.60	2.30	0.30	0.35	1700	1700
Lantern	1.80	5.60	0.35	0.35	1800	1800
Marlstone	4.15	5.60	0.35	0.35	2100	2100
Steel	210	210	0.30	0.30	7800	7800

Table 1. Comparison between preliminary (*pre.*) and final (*fin.*) elastic parameters.

Table 1 reports a comparison between the preliminary elastic parameters and those resulting from the updating process described in the flowchart of Figure 7. From this table can be observed that there are significant changes in the mechanical properties of many of the macro-elements relative to the preliminary model updating. This is visible also by looking at the Young's modulus of the buttresses before and after the calibration. Its value changed about of the 100% after the updating, only thanks to the use of local thermo-elastic data, i.e. temperatures and internal forces in the tie-bars. Finally, it is worth noting that also the bell-towers, that are not instrumented, underwent important changes after calibration.

Figure 8 reports pre- and post-updating load trends associated with data acquired by a single load cell, while Figure 9 depicts the first three modes of the updated FE model. The diagnosis of the Sanctuary can therefore be performed on a model-driven-approach.

7.1.3. Data-driven SHM

As said, SHM of heritage buildings is influenced by environmental conditions, especially temperature. To avoid false-positive or false-negative alarms of damage, Cross et al. (2012) proposed a ML approach based on the concept of linear cointegration. Another interesting class of machine learners based on statistical learning theory and Bayesian variants to perform nonlinear cointegration are the Support Vector Machines (SVMs) and Relevance Vector Machines (RVMs), which have the advantage of working well with sparse data sets. The Augmented Dickey-Fuller test confirmed that the model residuals ε are stationary and remain so throughout the monitoring

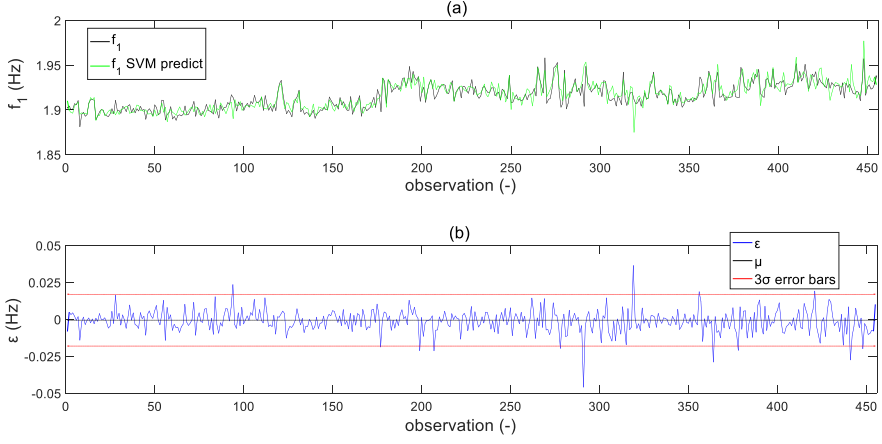


Fig. 10. SVM model of f_1 using f_1, f_2, f_3, f_4 and f_5 (experimental modal frequencies).

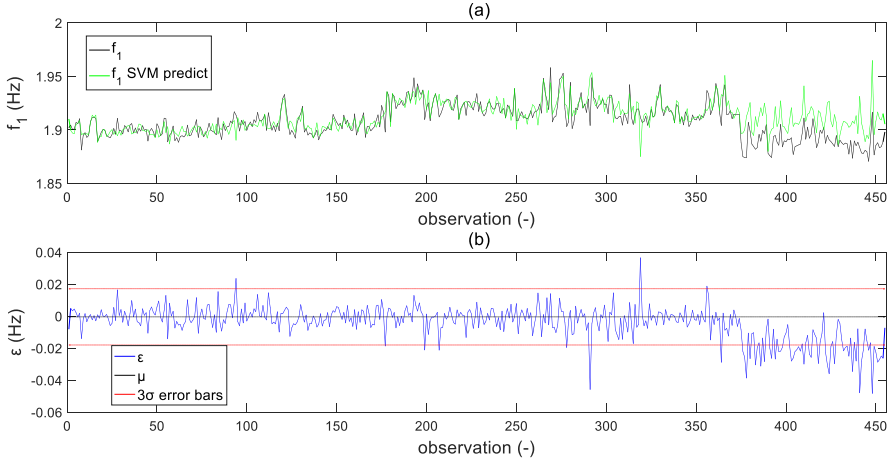


Fig. 11. SVM model of f_1 using f_1 and f_2 (numerical model - damage in the buttresses).

period (no damage progression), as reported in Figure 10 for the SVM model (Coletta *et al.* 2019).

In order to validate the effectiveness of the damage detection method with labelled data, damage scenarios were simulated using the calibrated FE model of the Sanctuary that was available from the model-driven SHM. The damage in the FE model was simulated as a reduction of the Young's modulus of the

zones characterised by higher stresses under the self-weight load. The higher stresses occur at the base of the buttresses, therefore the Young's modulus of these macro-elements is set equal to 3.3 GPa, being reduced to 40% of the initial modulus reported in Table 1. A sample results for the damaged numerical case, reported in Figure 11, shows the difference between false-positive damage and true occurrence of damage in terms of regression residual.

As mentioned above, the lack of labelled data related to structural damage conditions represents a very significant problem in the field of SHM. With this in mind, recently a first application of a TL algorithm was applied to the Sanctuary's data (Coletta 2020). The Transfer Component Analysis (TCA) is a domain adaptation algorithm introduced by Pan *et al.* (2010) that tries to learn some transfer components across domains in a Reproducing Kernel Hilbert Space using the Maximum Mean Discrepancy as an embedding criterion. As a result, the data distributions from different domains are brought closer together in the subspace spanned by these transfer components. In this new subspace, ML algorithms can be trained for classification or regression problems on data from the source domain and tested on the (unlabelled or partially-labelled) target domain.

Also in this case it is the calibrated model that provides the missing information, acting as a source domain (Fig. 12). Two systems are thus considered to belong to a homogeneous population since they are intended to be identical in topology, geometry and materials (Gardner *et al.* 2020), aiming to improve the recognition of different environmental conditions, expressed by a temperature variation, within the distribution of dynamic parameters.

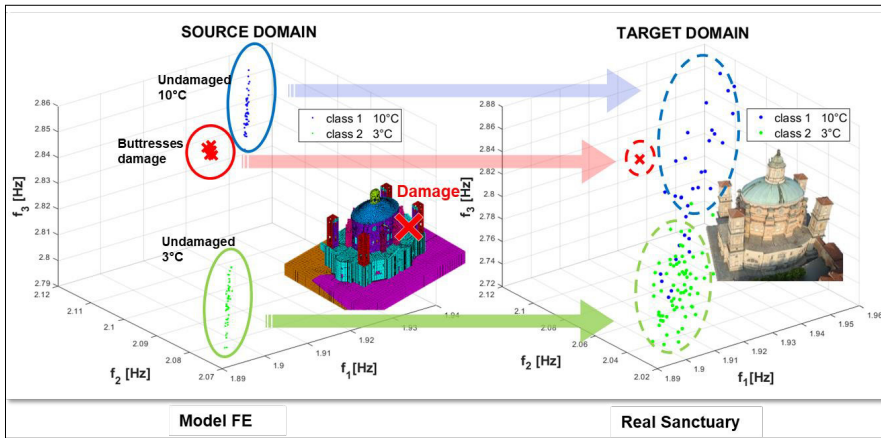


Fig. 12. Source and target domain features.

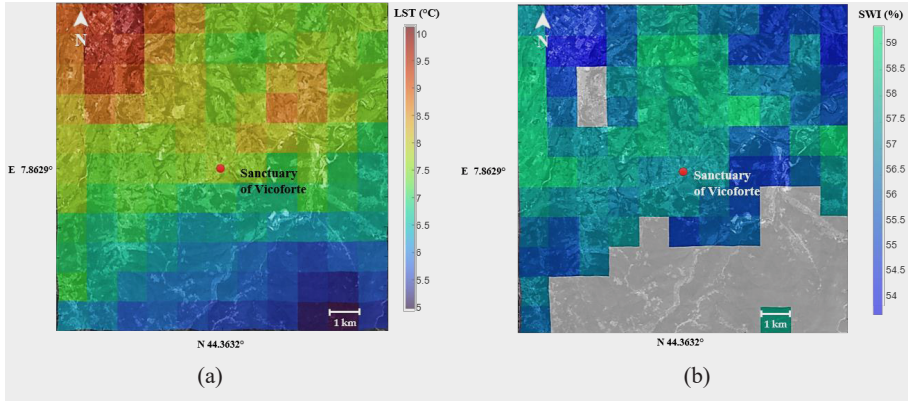


Fig. 13. Two-year (2018-19) average data interpolated on 121 points in the 11 km x 11 km grid around the Sanctuary: LST_{original} (a) and SWI (b) data (Coccimiglio *et al.* 2022).

An RVM classifier (Tipping 2001) has been implemented on the Sanctuary data, before and after the use of the domain adaptation technique. TCA led to a marked improvement in the classification of the experimental data of the Sanctuary, subjected to two different environmental temperatures. The good results obtained in the recognition of different environmental conditions encourage the application of transfer learning for the purpose of damage detection, in which the FE model would be used to produce data related to virtual damages that would otherwise be difficult or impossible to obtain. Insights will be needed to recreate the optimal composition of this virtual data domain and to define to what extent the simplifications of a model can be crucial in improving SHM methods.

The need for greater control over the built environment has progressively led to the development of monitoring technologies that work at the territorial scale. However, when going on a larger scale the information available, e.g. from satellite multispectral data (Fig. 13) and aerial systems, turns out to be much less specific and effective. In this sense, TL algorithms can prove efficient in transferring knowledge from already investigated data sets in which the data labels are known, i.e. the health state of the structure on which those data were measured, to another set for which less specific information is available. Bringing together the different scales of monitoring, and putting them to interact in a multi-scale system would lead to significant progress in the SHM field.

7.2. Condition assessment of an iconic pre-stressed concrete building

The underground pavilion was designed by Morandi in 1958 as an expansion of the Exhibition Center dedicated to hosting the industrial vehicle section of the Turin Automobile Show. It consists of a single wide space, 69 m in width and 151 m in length, located 8 m below ground level (Fig. 14).

The decision to build a hypogeum pavilion was made following various compromises and hypotheses elaborated by the engineer Bonadè Bottino, director of the Società Torino Esposizioni, and the Superintendence of Monuments of Piedmont. Bottino involved Morandi in the elaboration of the final project and for the structural calculations. The project was an opportunity for Morandi to concretize the long years of experimentation on pre-stressed reinforced concrete (Bruno 2013).

The general static scheme corresponds to the one frequently used by Morandi in bridges and overpasses, consisting of post-tensioned beams on two inclined supports, with two cantilevering side spans subsequently anchored by post-tensioning tendons at their ends, exerting a balancing effect on the bending moments in the main span. Different from these usual schemes, in the Pavilion V the main post-tensioned ribs are not parallel beams, but are diagonally directed and multiply reciprocally interconnected in order to obtain a spatial structure offering an high overall rigidity and lateral stability, and to contrast the instability of the very thin webs (16 cm) of the main ribs. In addition, the post-tensioned ties at the ends of the side spans are not inclined tendons anchored on the foundations of the main inclined supports, as in the bridges by Morandi, but are short ties embedded in prestressed concrete prismatic elements (shorter strut-beams), whose tension forces are balanced by the lateral retaining walls and by the load of the soil acting on their foundations.

The main supports for the entire structure are the internal inclined strut beams, which have a hexagonal shape, tapering from the center towards the two ends to perform the hinge constraint at the extremity points. At the top of these elements, the steel plates provide the connection with the ribs. The steel plate allows the rotation with respect to the vertical plan, ideally creating an element capable of supporting axial actions but unable to absorb bending moments (as reported in the static scheme by Morandi). The shorter strut beams were conceived with the aim of transforming the static scheme from determinate to indeterminate. The role of these latter elements is no less important, not only for the balanced beam pattern, but above all because they actually represent the most rigid restraint with respect to the longitudinal seismic action.

As shown in Figure 15 with a symmetrical half section from the original drawing, in each balanced beam, four long cables have been positioned lon-

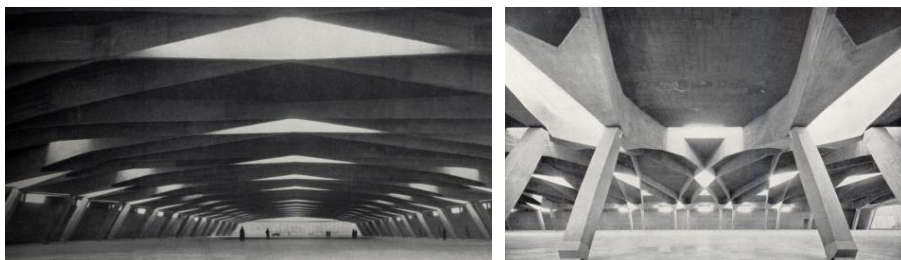


Fig. 14. Turin Exhibition Center, underground Pavilion by Riccardo Morandi: general views.

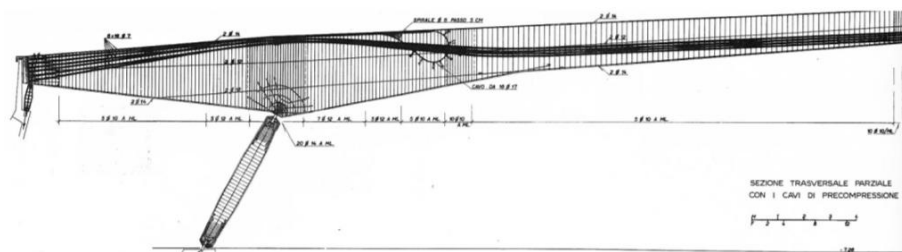


Fig. 15. Post-tensioning cables of the Pavilion V balanced beam (half section) from a drawing in Morandi (1959).

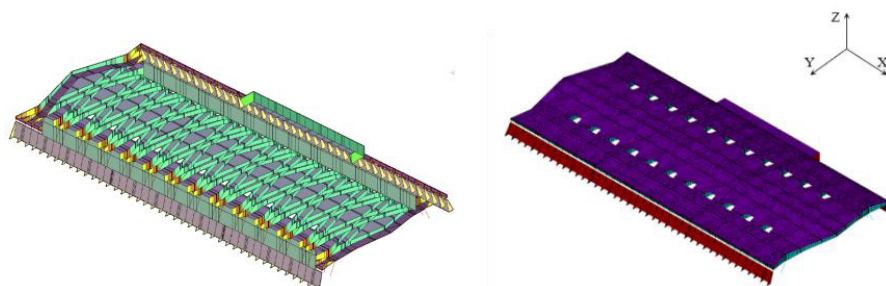


Fig. 16. Pavilion V: geometric model (left) and FE model (right).

gitudinally that cross the entire rib and two short cables for each of the two lateral cantilevers. Moreover, vertical cables have been placed into the shorter strut beams to apply a concentrated downward load at the edges. The tensioning of these elements was based on a series of consecutive operations.

The diagnostic activity began with the creation of a 3D geometric model of the Pavilion V on the base of geometric information obtained from the existing documentation, as well as from additional data collected during surveys. Figure 16 (left) reports the geometric model of the pavilion with detailed geometric information, which provided a proper reading of the structural typology of the pavilion and the recognition of possible design and construction principles. The structure is divided into three main bodies by means of two expansion joints, which cross the roof and the external walls, and whose behaviour was uncertain. The resulting FE model (Fig. 16 right) was corroborated with the data acquired after the experimental tests.

7.2.1. *Experimental campaign*

A test campaign was executed in 2019 in order to assess the condition of the structure. Both destructive and non-destructive tests were performed (e.g. see Fig. 17) in order to evaluate the health state of the various structural elements (MASTRLAB 2019, Ceravolo *et al.* 2022, Oliva *et al.* 2022). In details, the campaign started with inspection wells at the foundations, thermographic analysis of the structure, moisture content tests, geognostic surveys (SPT), state of possible subsoil contamination, ground penetrating radar (GPR) analysis and installation of new piezometers. Inspections and checks on the structures were then carried out, namely: determination of physical-chemical properties of the materials, tests on concrete, ordinary and pre-stressing steel, concrete cover, layout and characteristics of post-tensioning cables, possible grouting defects, steel corrosion and other chemical attacks, geometric characteristics in terms of position and diameters of reinforcing bars. Finally, mechanical tests have been executed in order to evaluate the compressive strength of the different elements of the structure: samples were extracted from foundations, retaining walls, ribs and longer strut-beams (see Fig. 17 left). Each sample was analysed with phenolphthalein to determine the progression of the carbonation front (Fig. 17 centre) and then subjected to a compression test.

Table 2 reports the average, minimum and maximum compressive strength values obtained for different elements, as well as Young's moduli.

ELEMENT	f_{cMEAN} [MPa]	f_{cMIN} [MPa]	f_{cMAX} [MPa]	E_{MEAN} [GPa]
Foundations	34.4	20.0	57.7	-
Retaining walls	56.9	46.6	63.0	37.0
Longer strut-beams	48.7	35.6	66.6	32.0
Ribs	41.0	25.4	61.9	33.0

Table 2. Pavilion V: results of compression tests on concrete samples.

The results show that the structure is made of a concrete with fairly high compressive strength. Different strength values, e.g. higher in the retaining walls, can be ascribed to different consolidation conditions, e.g. humidity. Furthermore, the carbonation levels of most samples are relatively low. The investigations have also verified the position of the reinforcement through metal detector tests, as well as the state of the post-tensioning system through the scarification of some ribs and shorter strut-beams. These investigations were useful to diagnose the important state of corrosion of the cable and the grouting defects. The program also included static tests on two different ribs, in order to assess the bearing capacity of the structure under characteristic variable actions.

The investigation campaign also included static tests on two different ribs to test the bearing capacity of the structure under the characteristic combination of the actions. The maximum displacement measured during the static test was 4.36 mm. These results showed a relatively high stiffness of the struc-



Fig. 17. Pavilion V: Extraction of concrete sample from a strut-beam (left); carbonation tests on sample of the ribs (centre); view of the static tests with trucks connected to the ribs through jacks (right).

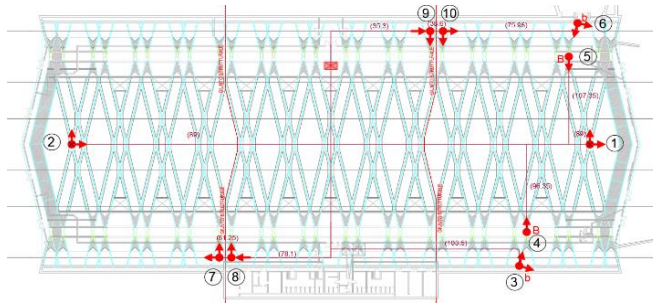


Fig. 18. Dynamic tests on Pavilion V: Setup 1.

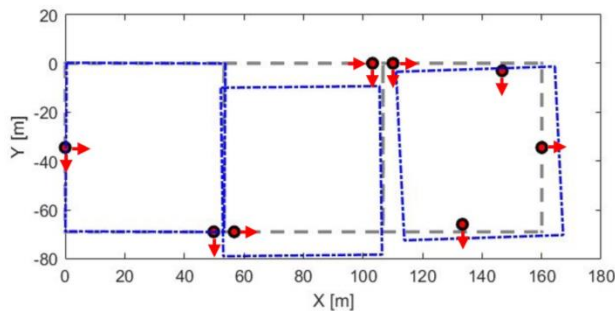


Fig. 19. Identified mode shape at 2.57 Hz (horizontal components).

ture under the imposed loads, despite a span of approximately 48 m between the inner supports.

Given the presence of uncertainties in the global dynamic behaviour of the pavilion, ambient vibration measurements were carried out to identify the modal characteristics and highlight possible criticalities for the preservation with respect to seismic actions. In the analysis of Pavilion V, dynamic tests represented an effective tool for increasing the knowledge level of the structure. These tests allow overall dynamic behaviour characterization of the structure and identify the possible losses of elasticity not immediately visible. The dynamic tests were carried out with natural excitation, which represents non-invasive investigation technique to avoid damaging the structure.

The preliminary FE model of the pavilion provided useful data to design the acquisition setups in order to maximize the content of extractable information and the spatial visualization of the modes. In fact, the structural complexity of Pavilion V directly affects the dynamic behaviour of the building

and the design of a successful design of the dynamic tests setup. The sources of complexity are the great rigidity of the system, the uncertainties related to behaviour of the joints, as well as the interaction with soil and non-structural inner walls in cellular concrete. In these conditions, the proper design of the dynamic tests plays a decisive role in the characterization process. The designed acquisition system was composed of 20 monoaxial piezoelectric accelerometers. In particular, accelerometers were placed in correspondence with the joints linking the blocks, to investigate how the interaction affects the dynamic behaviour of the three distinct bodies (Ceravolo *et al.* 2022, Scussolini *et al.* 2023). Overall, two setups were designed, paying close attention to favoring the modal decoupling. The first configuration was designed to obtain information in the horizontal (x-y) plane, while the second one mainly focuses on the vertical direction. Figure 18 reports with red arrows only the sensor measuring horizontal components.

The acquisitions lasted between 18 and 98 minutes. The signals, in terms of accelerations, were acquired by adopting two different sampling frequencies (128 Hz and 256 Hz), whilst the main modes were confined in the first 20 Hz. The results of the dynamic tests, the used identification algorithm and the estimation of the modal parameters can be found in Ceravolo *et al.* (2022). From the analysis of the mode shapes, the blocks are not appreciably affected by mutual interaction, this being indicative of the full effectiveness of the joints. In other words, the three blocks are likely to behave as fairly separated dynamic systems. As an example Figure 19 reports the representation of the horizontal components of the first mode (undeformed configuration in dashed lines, with considered sensor positions) as obtained exploiting a simplified model.

The results of the experimental tests were used to corroborate the model, in terms of elastic moduli and distributed mass on the roof as detailed in Laboratorio di Dinamica e Sismica (2019). Subsequently, the experimentally corroborated model can be used as a strategy to accomplish the condition assessment of the pavilion to preserve the structure, as described in the following section.

7.2.2. *Structural safety assessment*

For Morandi's pavilion one of the main static problems is represented by the conditions concerning the corrosion of the post-tensioning cables (Oliva 2022). In fact, although static and mechanical tests have shown an appropriate stiffness and concrete strength of the building, the structural safety in static configuration depends above all on the condition of the tendons. The dura-

bility of the elements is affected by poor grouting inside the tendons, which aggravate the problem of corrosion. In Pavilion V, direct inspections on the tendons of two ribs have revealed the presence of corrosion and poor grouting (Fig. 20 left). The poor grouting allowed to carry out an endoscopy inspection inside the duct (Fig. 20 right). In particular, hardened gray grout was found along the lower portion of the ducts, while poor segregated grout was found at the upper portion of the tendon. Generally, regions of varied grout quality and presence of strand corrosion products were visually assessed.

Since air voids and segregation defects are the major issues for post-tensioned structures and accelerate corrosion, sensitivity analysis were performed to investigate the safety level trend of balanced beam under changing corrosion scenario. In particular, ultimate load multiplier $\alpha = q_{Rd}/q_d$ was defined as the ration between the ultimate crowd load on the roof, q_{Rd} , and the imposed load, q_d . It is worth highlighting that Morandi assumed a crowd load on the roof, q_d , equal to 4 kN/m². Exploiting the calibrated FE model, the ultimate load multipliers α were evaluated with the current European standards as a function of the percent increase of the corroded steel area $A_{r,corr}$ (Fig. 21). This analysis can be a useful tool to accomplish the condition assessment of early post-tensioned systems, especially when it is not available exhaustive experimental checks on the cables for the entire building.



Fig. 20. Visual inspection of post-tensioning tendons in a rib (left), and endoscopy inspection inside a duct of the rib (right) (MASTRLAB 2019).

Furthermore, as expected, Pavilion V was conceived to withstand essentially vertical loads. For this reason, the calibrated model was used also for the seismic assessment with the current Italian national standards. A standard multimodal analysis with elastic response spectra was executed to evaluate the main criticalities and vulnerabilities of the pavilion. The seismic actions were applied along the two horizontal and vertical directions, according to

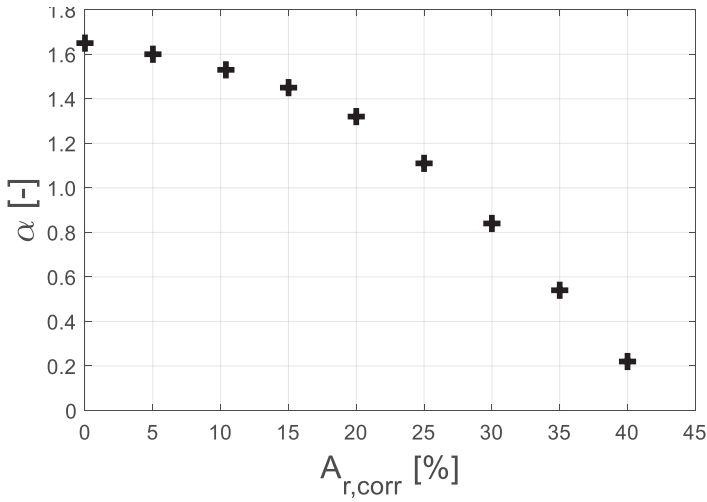


Fig. 21. Sensitivity analysis on the rib with the calibrated FE model: the ultimate load multiplier as a function of corroded post-tensioning steel area in the rib (Oliva 2022).

Italian Standard. For the seismic action a return period $T_R = 949$ years was assumed (strategic structure use).

As a result of the seismic assessment, both shorter and longer strut beams of the pavilion were recognized as critical elements. The assessment of the selected elements provided the following results along the longitudinal axis: i) verifications of the longer strut beams not satisfied with respect to axial and bending forces; ii) insufficient shear reinforcement in the shorter strut beams (Fig. 15).

Moreover, based on the results coming from the vibration tests, the presence of effective joints could constitute a factor of vulnerability due to the possible pounding between the three distinct bodies. Pounding could be aggravated by the lack of edge beams at some sections of the joints. Therefore, the corrosion of steel in the tendons and the above-mentioned seismic vulnerabilities are confirmed as the main obstacles in the preservation of the pavilion. Possible solutions include an external exoskeleton to suspend the structure.

Conclusions

Structural Health Monitoring in its modern meaning was born in the early seventies for the monitoring of inaccessible structural parts and has developed up to the present day, both with very refined axiomatic formulations, often

coming from the control sector, and thanks to heuristic applications, including those relying on Machine Learning.

The lecture discussed the lines of development of this distinctly multidisciplinary research field. On the other hand, some successful applications have been presented for the permanent and periodic monitoring of complex objects such as cultural heritage, which bodes well for the outcome of the great research effort expended in recent years.

The two case studies, which concerned traditional and contemporary architectural heritage, evidenced some technical limitations, namely (i) the influence of environmental and operational factors, (ii) the lack training labelled data relating to damaged conditions and (iii) the influence of soil conditions. In the context of the individual applications, some possible solutions to the problems raised were also presented. The proposed strategies are not always generalizable, but this is still a peculiarity of any approach to diagnostics.

References

- [Abbiati *et al.* 2015], G. Abbiati, R. Ceravolo, C. Surace (2015). *Time-dependent estimators for on-line monitoring of full-scale structures under ambient excitation. Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 60-61, pp. 166-181.
- [Allemang & Brown 1998], R.J. Allemang, D.L. Brown (1998). *A unified matrix polynomial approach to modal identification*, Journal of Sound and Vibration, vol. 211, pp. 301-322.
- [Allemang & Phillips 1998], R.J. Allemang, A.W. Phillips (2004). *The unified matrix polynomial approach to understanding modal parameter estimation: an update*, in Proceedings of the International Seminar on Modal Analysis (ISMA), Leuven.
- [Andersen *et al.* 1998], P. Andersen, R. Brincker, B. Peeters, G. De Roeck, L. Hermans, C. Kramer (1999). *Comparison of system identification methods using ambient bridge test data*. Proc. 17th International Modal Analysis Conference (IMAC), Kissimmee, Florida, USA, February 8-11, 1999, pp. 1035-1041.
- [Aström & Bohlin 1965], K.J. Aström, T. Bohlin (1965). *Numerical Identification of Linear Dynamic Systems from Normal Operating Records*, Proc. Theory of Self-Adaptive Control Systems, Teddington, 1965. Published by Instrument Society of America, Hammond P.H. (ed.).
- [Barsocchi *et al.* 2020], P. Barsocchi, G. Bartoli, M. Betti, M. Girardi, S. Mammolito, D. Pellegrini, G. Zini (2020). *Wireless sensor networks for continuous structural health monitoring of historic masonry towers*. Taylor & Francis, 15(1), pp. 22-44.
- [Bellizzi & Defilippi 2003], S. Bellizzi, M. Defilippi (2003). *Non-linear mechanical systems identification using linear systems with random parameters*, Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 17, pp. 203-210.

- [Benedettini *et al.* 1995], F. Benedettini, D. Capecchi, F. Vestroni (1995). *Identification of hysteretic oscillators under earthquake loading by nonparametric models*. J. Eng. Mech.-ASCE, 121, pp. 606-612.
- [Benhafsi 1992], Y. Benhafsi, J.E. Penny, M.I. Friswell (1992). *A parameter identification method for discrete nonlinear systems incorporating cubic stiffness elements*, International Journal of Analytical and Experimental Modal Analysis, vol. 7, pp. 179-195.
- [Billings 1991], S.A. Billings, H.B. Jamaluddin, S. Chen (1991). *Properties of neural networks with applications to modelling non-linear dynamical systems*, International Journal of Control, 55, pp. 193-224.
- [Bishop 2006], C.P. Bishop (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*, Springer.
- [Boller 2009], C. Boller (2009). *Encyclopedia of Structural Health Monitoring*, in *Encyclopedia of Structural Health Monitoring*. <https://doi.org/10.1002/9780470061626>
- [Bonato *et al.* 1997], P. Bonato, R. Ceravolo, A. De Stefano, *Time-Frequency and Ambiguity Function Approaches in Structural Identification*, J. Eng. Mech.-ASCE, vol. 123(12), pp. 1260-1267.
- [Boscatto *et al.* 2015], G. Boscatto, S. Russo, R. Ceravolo, L. Zanotti Fragonara (2015). *Global sensitivity-based model updating for heritage structures*, Comput. Civ. Infrastruct. Eng., 30, pp. 620-635.
- [Briard 1970], M. Briard (1970). *Controle des pieux par la méthode des vibrations*, Annales ITBTP n. 270, Paris.
- [Brincker & Moller 2007], R. Brincker, N. Moller (eds.) (2007). *Proc. 2nd International Operational Modal Analysis Conference (IOMAC)*, Copenhagen, 2007.
- [Brincker *et al.*], R. Brincker, A. De Stefano, B. Piombo (1996). *Ambient data to analyze the dynamic behaviour of bridges: a first comparison between different techniques*. Proc. 14th IMAC, Dearborn, Michigan, pp. 477-482.
- [Bruno 2013], E. Bruno (2013). *Riccardo Morandi per il V padiglione di Torino Esposizioni*, C. Olmo, M. Pogacnik, S. Sorace (eds.), *La concezione strutturale: Architettura e Ingegneria in Italia negli anni 50 e 60*, Umberto Allemandi & C., Torino, pp. 229-240.
- [Bursi *et al.* 2012], O.S. Bursi, R. Ceravolo, S. Erlicher, L. Zanotti Fragonara (2012). *Identification of the hysteretic behaviour of a partial-strength steel-concrete moment-resisting frame structure subject to pseudodynamic tests*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 41(14), pp. 1883-1903.
- [Cabboi *et al.* 2017], A. Cabboi, C. Gentile, A. Saisi (2017). *From continuous vibration monitoring to FEM-based damage assessment: Application on a stone-masonry tower*, Construction and Building Materials, 156, pp. 252-265.
- [Casciati 1989], F. Casciati (1989). *Stochastic dynamics of hysteretic media*, Struct. Safety, 6, pp. 259-269.
- [Catbas *et al.* 2008] F.N. Catbas, M. Susoy, D.M. Frangopol (2008). *Structural health monitoring and reliability estimation: Long span truss bridge application with environmental monitoring data*, Engineering Structures, 30(9), pp. 2347-2359.
- [Caughey 1963], T.K. Caughey (1963). *Equivalent linearisation techniques*, Journal of the

- Acoustical Society of America, 35, pp. 1706-1711.
- [Cavalagli *et al.* 2019], N. Cavalagli, A. Kita, S. Falco, F. Trillo, M. Costantini, F. Ubertini (2019). *Satellite radar interferometry and in-situ measurements for static monitoring of historical monuments: The case of Gubbio*, Italy, Remote Sensing of Environment, 235, 111453.
- [Ceravolo & Abbiati 2013], R. Ceravolo, G. Abbiati (2013). *Time Domain Identification of Structures: a Comparative Analysis of Output-Only Methods*, J. Engineering Mechanics (ASCE), vol. 139(4), pp. 537-544.
- [Ceravolo *et al.* 2013], R. Ceravolo, S. Erlicher, L. Zanotti Fragonara (2013). *Comparison of restoring force models for the identification of structures with hysteresis and degradation*, J. Sound Vib., vol. 332(26), pp. 6982-6999.
- [Ceravolo 2009], R. Ceravolo (2009). *Time-Frequency Analysis*, Chapter 26 in *Encyclopedia of Structural Health Monitoring*, Boller, Chang and Fujino (eds.), Wiley & Sons Ltd.
- [Ceravolo 2004], R. Ceravolo (2004). *Use of instantaneous estimators for the evaluation of structural damping*, J. Sound Vib., 274(1-2), pp. 385-401.
- [Ceravolo *et al.* 2017], R. Ceravolo, A. De Marinis, M. Pecorelli, L. Zanotti Fragonara (2017). *Monitoring of masonry historical constructions: 10 years of static monitoring of the world's largest oval dome*, Structural Control and Health Monitoring, vol. 24, no. 10, 2017.
- [Ceravolo *et al.* 2007], R. Ceravolo, G.V. Demarie, S. Erlicher (2007). *Instantaneous Identification of Bouc-Wen-type Hysteretic Systems from Seismic Response Data*, Key Eng. Mater., 347, pp. 331-338.
- [Ceravolo *et al.* 2021], R. Ceravolo, G. Coletta, G. Miraglia, F. Palma (2021). *Statistical correlation between environmental time series and data from long-term monitoring of buildings*. Mechanical Systems and Signal Processing, 152, 107460.
- [Ceravolo *et al.* 2019], R. Ceravolo, G. De Lucia, E. Lenticchia, G. Miraglia (2019). *Seismic Structural Health Monitoring of Cultural Heritage Structures*, in *Seismic Structural Health Monitoring*, Series: Springer Tracts in Civil Engineering, M.P. Limongelli, M. Çelebi (eds.), Chapter 3, pp. 51-85.
- [Ceravolo *et al.* 2020], R. Ceravolo, G. De Lucia, G. Miraglia, M.L. Pecorelli (2020). *Thermoelastic finite element model updating with application to monumental buildings*, Comput. Civ. Infrastruct. Eng., 35, pp. 628-642.
- [Ceravolo & De Stefano 1996], R. Ceravolo, A. De Stefano (1996). *Techniques for the mechanical characterisation of civil structures*, Materials and Structures, vol. 29, pp. 562-570.
- [Ceravolo *et al.* 1995], R. Ceravolo, A. De Stefano, D. Sabia (1995). *Hierarchical Use of Neural Techniques in Structural Damage Recognition*, Smart Materials and Structures, 4(4), pp. 270-280.
- [Ceravolo *et al.* 2008], R. Ceravolo, G.V. Demarie, S. Erlicher (2008). *Identification of Degrading Hysteretic Systems from Seismic Response Data*, Proc. of Eurodyn 2008, Southampton, 7-9 July, 2008, CD-ROM paper n.179, Southampton UK.
- [Ceravolo *et al.* 2022], R. Ceravolo, E. Lenticchia, G. Miraglia, V. Oliva, L. Scussolini

- (2022). *Modal Identification of Structures with Interacting Diaphragms*, Applied Sciences, vol. 12, 4030.
- [Ceravolo *et al.* 1995], R. Ceravolo, G. Pistone, L. Zanotti Fragonara, G. Abbiati (2016). *Vibration-based monitoring and diagnosis of cultural heritage: A methodological discussion in three examples*, International Journal of Architectural Heritage, 10(4), pp. 375-395.
- [Ceravolo *et al.* 1995], R. Ceravolo, E. Matta, A. Quattrone, L. Zanotti Fragonara (2017). *Amplitude dependence of equivalent modal parameters in monitored buildings during earthquake swarms*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 46, pp. 2399-2417.
- [Chassiakos 1996], A.G. Chassiakos, S.F. Masri (1996). *Modelling unknown structural systems through the use of neural networks*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25, pp. 117-128.
- [Chassiakos *et al.* 1995], A.G. Chassiakos, S.F. Masri, A.W. Smyth, J.C. Anderson (1995). *Adaptive methods for the identification of hysteretic structures*, Proc. American Control Conference, Seattle, pp. 2349-2353.
- [Chiorino *et al.* 2011], M.A. Chiorino, R. Ceravolo, A. Spadafora, L. Zanotti Fragonara, G. Abbiati (2011). *Dynamic characterization of complex masonry structures: The Sanctuary of Vicoforte*, International Journal of Architectural Heritage, 5(3), pp. 296-314.
- [Chiorino *et al.* 2008], M.A. Chiorino, A. Spadafora, C. Calderini, S. Lagomarsino (2008). *Modeling Strategies for the World's Largest Elliptical Dome at Vicoforte*, International Journal of Architectural Heritage, pp. 274-303.
- [Civera *et al.* 2021], M. Civera, M.L. Pecorelli, R. Ceravolo, C. Surace, L. Zanotti Fragonara (2021). *A multi-objective genetic algorithm strategy for robust optimal sensor placement*, Comput. Aided Civ. Infrastructure Eng., 36(9), pp. 1185-1202.
- [Coccimiglio *et al.* 2022], S. Coccimiglio, G. Coletta, E. Lenticchia, G. Miraglia, R. Ceravolo (2022). *Combining satellite geophysical data with continuous on-site measurements for monitoring the dynamic parameters of civil structures*, Scientific Reports, 12(1), 2275.
- [Cole 1968], H.A. Cole (1968). *On-the-line analysis of random decrement vibrations*, AIAA Paper No 68-288.
- [Coletta 2022], G. Coletta (2022). *Monitoring of architectural heritage with machine learning methods*, PhD Thesis, Politecnico di Torino.
- [Coletta 2020], G. Coletta, G. Miraglia, P. Gardner, R. Ceravolo, C. Surace, K. Worden (2020). *A Transfer Learning Application to FEM and Monitoring Data for Supporting the Classification of Structural Condition States*, Proc. European Workshop on Structural Health Monitoring, pp. 947-957.
- [Coletta *et al.* 2019], G. Coletta, G. Miraglia, M.L. Pecorelli, R. Ceravolo, E. Cross, C. Surace, K. Worden (2019). *Use of the cointegration strategies to remove environmental effects from data acquired on historical buildings*, Engineering Structures, 183, pp. 1014-1026.
- [Cozzo *et al.* 2017], P. Cozzo, G. De Lucia, A. Longhi. *Un Miracolo "Sfortunato"? Valori*

- e Ambizioni di un Luogo “Miracolato”: Il Santuario Di Vicoforte (Mondovì)*, O. Niglio (a cura di), *Conoscere, conservare, valorizzare il Patrimonio culturale religioso Canterano*, Aracne Editrice, pp. 73-61.
- [Cross & Worden 2012], E.J.Cross, K. Worden (2012). *Cointegration and why it works for SHM. Proceedings of 8th International Conference on Modern Practice in Stress and Vibration*, Glasgow.
- [Cunha & Caetano 2007], A. Cunha, E. Caetano (eds.) (2007). *Proc. of the experimental vibration analysis for civil engineering structures (EVACES07) conference*, FEUP, Porto.
- [Dai *et al.* 2007], W. Dai, Q. Yang, G.R. Xue, Y. Yu (2007). *Boosting for transfer learning*, Proc. 24th international conference on Machine Learning, pp. 193-200.
- [De Stefano & Ceravolo 2007], A. De Stefano, R. Ceravolo (2007). *Assessing the health state of ancient structures: The role of vibrational tests*, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 18(8), pp. 793-807.
- [De Stefano *et al.* 1997], A. De Stefano, D. Sabia, L. Sabia (1997). *Structural identification using ARMAV models from noisy dynamic response under unknown random excitation*. DAMAS 97, International Workshop, Euromech 365, University of Sheffield (UK), pp. 419-428.
- [Deblauwe & Allemang 1985], F. Deblauwe, R.J. Allemang (1985). *The polyreference time domain technique*. Proceedings of the 10th International Seminar on Modal Analysis, Part IV, Katholieke Universiteit Leuven Belgium.
- [Delo *et al.* 2022], G. Delo, M. Civera, E. Lenticchia, G. Miraglia, C. Surace, R. Ceravolo (2022). *Interferometric Satellite Data in Structural Health Monitoring: An Application to the Effects of the Construction of a Subway Line in the Urban Area of Rome*, Applied Sciences, 12(3), p.1658.
- [Demarie *et al.* 2005], G.V. Demarie, R. Ceravolo, A. De Stefano (2005). *Instantaneous identification of polynomial nonlinearity based on Volterra series representation*, Key Engineering Materials, pp. 293-294, 703-710.
- [Deraemaeker *et al.* 2008], A. Deraemaeker, E. Reynders, G. De Roeck, J. Kullaa (2008). *Vibration-based structural health monitoring using output-only measurements under changing environment*, Mechanical Systems and Signal Processing, 22(1), pp. 34-56.
- [Doebling *et al.* 1996], S. Doebling, C.R. Farrar, M. Prime, D. Shevitz (1996). *Damage identification and health monitoring of structural and mechanical systems from changes in their vibration characteristics: a literature review*. <https://www.osti.gov/biblio/249299>
- [Dolce *et al.* 2017], M. Dolce, M. Nicoletti, A. De Sortis, S. Marchesini, D. Spina, F. Talanas (2017). *Osservatorio sismico delle strutture: the Italian structural seismic monitoring network*, Bulletin of Earthquake Engineering, vol. 15(2), pp. 621-641.
- [Du & Wang 2009], X. Du, F. Wang (2009). *New modal identification method under the non-stationary Gaussian ambient excitation*. Appl. Math. Mech. 30(10), pp. 1295-1304.
- [Erlicher & Argoul 2007], S. Erlicher, P. Argoul (2007). *Modal identification of linear*

- non-proportionally damped systems by wavelet transform*, Mechanical Systems and Signal Processing 2007, 21, pp. 1386-1421.
- [Erlicher & Bursi 2008], S. Erlicher, O.S. Bursi (2008). *Bouc-Wen-type models with stiffness degradation: thermodynamic analysis and applications*, J. Engineering Mechanics (ASCE), 134(10), pp. 843-855.
- [Ewins 2000], D.J. Ewins (2000). *Modal testing*, Research Studies Press LTD.
- [Fan & Li 2000], Y. Fan, C.J. Li, *Non-linear system identification using lumped parameter models with embedded feedforward neural networks*, Mechanical Systems and Signal Processing 16 (2002), pp. 357-372.
- [Farrar & Worden 2012], C.R. Farrar, K. Worden (2012). *Structural Health Monitoring: A Machine Learning Perspective*. <https://doi.org/10.1002/9781118443118>.
- [Fassois & Lee 1993], S.D. Fassois, J.E. Lee (1993). *On the problem of stochastic experimental modal analysis based on multiple-response data*, Part II: *The modal analysis approach*, J. Sound Vib., 161(1), pp. 57-87.
- [Felber & Ventura 1996], A.J. Felber, C.E. Ventura (1996). *Frequency Domain Analysis of the Ambient Vibration Data of the Queensborough Bridge Main Span*, 14th International Modal Analysis Conference, Dearborn, Michigan, February 12-15.
- [Feldman & Braun 1995], M. Feldman, S. Braun, *Identification of non-linear system parameters via the instantaneous frequency: application of the Hilbert transform and Wigner-Ville technique*, Proc. 13th International Modal Analysis Conference, Nashville, 1995, pp. 637-642.
- [Feldman 1994], M. Feldman (1994). *Nonlinear system vibration analysis using the Hilbert transform*. I. *Free vibration analysis method 'FREEVIB'*, Mechanical Systems and Signal Processing, 8, pp. 119-127.
- [Feldman 1994], M. Feldman (1994). *Nonlinear system vibration analysis using the Hilbert transform*. II. *Forced vibration analysis method 'FORCEVIB'*, Mechanical Systems and Signal Processing, 8, pp. 309-318.
- [Feldman 1997], M. Feldman (1997). *Non-linear free vibration identification via the Hilbert transform*, Journal of Sound and Vibration, 208, pp. 475-489.
- [Figueiredo *et al.* 2011], E. Figueiredo, G. Park, C.R. Farrar, K. Worden, J. Figueiras (2011). *Machine learning algorithms for damage detection under operational and environmental variability*, Structural Health Monitoring, 10(6), pp. 559-572.
- [Flah *et al.* 2020], M. Flah, I. Nunez, W. Ben Chaabene, M.L. Nehdi (2020). *Machine Learning Algorithms in Civil Structural Health Monitoring*, A Systematic Review. Archives of Computational Methods in Engineering, 0123456789.
- [Foliente 1995], G.C. Foliente (1995). *Hysteresis modeling of wood joints and structural systems*, J. Structural Engineering (ASCE), 121(6), pp. 1013-1022.
- [Friswell 2007], M.I. Friswell (2007). *Damage identification using inverse methods*, Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 365(1851), pp. 393-410.
- [Friswell *et al.* 2001], M.I. Friswell, J.E. Mottershead, H. Ahmadian (2001). *Finite element model updating using experimental test data: Parametrization and regularization*, Philosophical Transaction of the Royal Society A: Mathematical Physical and

- Engineering Science, 359, pp. 169-186.
- [Gardner *et al.* 2020], P. Gardner, X. Liu, K. Worden (2020). *On the application of domain adaptation in structural health monitoring*, Mechanical Systems and Signal Processing, 138, 106550.
- [Garro 1962], M. Garro (1962). *Opere di consolidamento e restauro. Relazione riassuntiva*, dattiloscritto, Santuario Basilica di Mondovì.
- [Gentile *et al.* 2019], C. Gentile, A. Ruccolo, F. Canali (2019). *Long-term monitoring for the condition-based structural maintenance of the Milan Cathedral*, Construction and Building Materials, 228, 117101.
- [Ghanem & Shinozuka 1995], R. Ghanem, M. Shinozuka (1995). *Structural System Identification: Theory*, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 121, pp. 255-264
- [Giorcelli *et al.* 1994], E. Giorcelli, A. Fasana, L. Garibaldi, A. Riva (1994). *Modal analysis and system identification using ARMAV models*, Proc. 12th IMAC, SEM, vol. I, Honolulu, Hawaii, U.S.A., pp. 667-680.
- [Giraldo *et al.* 2009], D.F. Giraldo, W. Song, S.J. Dyke, J.M. Caicedo (2009). *Modal Identification through Ambient Vibration: Comparative Study*, Journal of Engineering Mechanics (ASCE) 135, pp. 759-770.
- [Hagedorn & Wallaschek 1987], P. Hagedorn, J. Wallaschek (1987). *On equivalent harmonic and stochastic linearization*, in *Proceedings of the IUTAM Symposium on Nonlinear Stochastic Dynamic Engineering Systems*, Berlin, pp. 23-32.
- [Hakuno *et al.* 1969], M. Hakuno, M. Shidawara, T. Hara (1969). *Dynamic destructive test of a cantilever beam, controlled by an analog-computer*, Proc., JSCE, 171, pp. 1-9 (in Japanese)
- [Hammond & White 1996], J.K. Hammond, P.R. White (1996). *The analysis of non-stationary signals using time-frequency methods*, Journal of Sound and Vibration, 190, pp. 419-447.
- [Hammond & Waters 2001], J.K. Hammond, T.P. Waters (2001). *Signal processing for experimental modal analysis*, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 359, pp. 41-59.
- [Hasselman *et al.* 1998], T.K. Hasselman, M.C. Anderson, W.G. Gan (1998). *Principal component analysis for nonlinear model correlation*, Proc. 16th International Modal Analysis Conference, Santa Barbara, 1998, pp. 644-651.
- [Hemez & Doebling 2001], F.M. Hemez, S.W. Doebling (2001). *Review and assessment of model updating for non-linear, transient dynamics*, Mechanical Systems and Signal Processing, 15, pp. 45-74.
- [Hesse 1965], M. Hesse (1965). *Models and Analogies in Science*, British Journal for the Philosophy of Science 16(62), pp. 161-163.
- [Heylen *et al.* 1997], W. Heylen, S. Lammens, P. Sas (1997). *Modal Analysis Theory and Testing*, KUL Press, Leuven.
- [Ho & Kalman 1965], B.L. Ho, R.E. Kalman (1965). *Effective construction of linear state-variable models from input-output functions*, Regelungstechnik, 12, pp. 545-548.

- [Huang *et al.* 1998], N.E. Huang, Z. Shen, S.R. Long, M.C. Wu, H.H. Shih, Q. Zheng, N.C. Yen, C.C. Tung, H.H. Liu (1998). *The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis*, Proc. Royal Society of London Series A – Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 454, pp. 903-995.
- [Ibrahim & Mikulcik], S.R. Ibrahim, E.C. Mikulcik (1977). *A Method for the direct identification of vibration parameters from the free response*, The Shock and Vibration Bulletin, 47(4), pp. 183-198.
- [ICOMOS-ISCARSAH 2003], ICOMOS-ISCARSAH (2003). *ICOMOS Charter – Principles for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage*, Proc. ICOMOS 14th General Assembly and Scientific Symposium, Victoria Falls, Zimbabwe, vol. 2731.
- [Ikhoulane *et al.* 2007], F. Ikhoulane, V. Mañosa, J. Rodellar (2007). *Dynamic properties of the hysteretic Bouc-Wen model*. Systems & Control Letters, 56(3), pp. 197-205.
- [Inman 1989], D.J. Inman (1989). *Vibration with Control, Measurement, and Stability*, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- [Iwan 1973], W.D. Iwan (1973). *A generalization of the concept of equivalent linearization*, International Journal of Non-Linear Mechanics, 8, pp. 279-287.
- [James *et al.* 1995], G.H. James, G.T. Carne; J.P. Lauffer (1995). *The natural excitation technique (NexT) for modal parameter extraction from operating structures*, Modal Analysis, 10, pp. 260-277.
- [Murugan *et al.* 2020], M. Murugan Jaya, R. Ceravolo, L. Zanotti Fragonara, E. Matta (2020). *An optimal sensor placement strategy for reliable expansion of mode shapes under measurement noise and modelling error*, J. Sound Vib., 487, 115511.
- [Juang 1994], J.-N. Juang (1994). *Applied System Identification*, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- [Juang & Pappa 1984], J.-N. Juang., R.S. Pappa (1984). *An eigensystem realisation algorithm (ERA) for modal parameter identification and modal reduction*. NASA/JPL Workshop on Identification and Control of Flexible Space Structures.
- [Juditsky *et al.* 1995], A. Juditsky, H. Hjalmarsson, A. Beneviste, B. Delyon, L. Ljung, J. Sjöberg, Q. Zhang, *Nonlinear black-box models in system identification: mathematical foundations*, Automatica, 31, pp. 1725-1750.
- [Kasimzade *et al.* 2018], A.A. Kasimzade, E. Şafak, C.E. Ventura, F. Naeim, Y. Mukai (2018). *Seismic isolation, structural health monitoring, and performance based seismic design in earthquake engineering: Recent developments*, in *Seismic Isolation, Structural Health Monitoring, and Performance Based Seismic Design in Earthquake Engineering: Recent Developments*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93157-9>.
- [Kim & Powers 1993], S.B. Kim, E.J. Powers (1993). *Frequency-domain Volterra kernel estimation via higher-order statistical signal processing*, IEEE Transactions on Signal Processing, pp. 446-450.
- [Kosmatopoulos *et al.* 2001], E.B. Kosmatopoulos, A.W. Smyth, S.F. Masri, A.G. Chassiakos (2001). *Robust adaptive neural estimation of restoring forces in nonlinear structures*,

- Journal of Applied Mechanics, 68, pp. 880-893.
- [Koukoulas & Kalouptsidis 2000], P. Koukoulas, N. Kalouptsidis (2000). *Second-Order Volterra system identification*, IEEE Trans. on Signal Processing, 48, pp. 3574-3577.
- [Kyprianou *et al.* 2001], A. Kyprianou, K. Worden, M. Panet (2001). *Identification of hysteretic systems using differential evolution algorithm*, J. Sound Vib., 248(2), pp. 289-314.
- [Laboratorio di Dinamica e Sismica 2019], *Laboratorio di Dinamica e Sismica (2019). Relazione sulle prove di caratterizzazione dinamica del Padiglione Morandi di Torino Esposizioni*, Politecnico di Torino, Torino (in Italian).
- [Larimore 1990], W.E. Larimore (1990). *Canonical variate analysis in identification, filtering, and adaptive control*, Proc., 29th Conference on Decision and Control, Hawaii, pp. 596-604.
- [Le Riche *et al.* 2001], Le Riche R., D. Gualandris, J.J. Thomas, F.M. Hemez (2001). *Neural identification of non-linear dynamic structures*, Journal of Sound and Vibration, 248, pp. 247-265.
- [Lenticchia *et al.* 2021], E. Lenticchia, G. Miraglia, A. Quattrone, R. Ceravolo (2021). *Condition Assessment of an Early Thin Reinforced Concrete Vaulted System*, International Journal of Architectural Heritage. <https://doi.org/10.1080/15583058.2021.1922784>
- [Lenticchia *et al.* 2018], E. Lenticchia, R. Ceravolo, P. Antonaci P. (2018). *Sensor placement strategies for the seismic monitoring of complex vaulted structures of the modern architectural heritage*, Shock Vib., vol. 2018, Article ID 3739690.
- [Leontaritis & Billings 1985], I.J. Leontaritis, S.A. Billings (1985), *Input-output parametric models for nonlinear systems*; Part II: *Stochastic nonlinear systems*, International Journal of Control, 41, pp. 329-344.
- [Leuridan *et al.* 1985], J.M. Leuridan, D.L. Brown, R.J. Allemang (1985). *Time domain parameter identification methods for linear modal analysis: a unifying approach*, ASME Paper Number 85-DET-90.
- [Lew *et al.* 1993], J.S. Lew, J.N. Juang, R.W. Longman (1993). *Comparison of several system identification methods for flexible structures*, J. Sound Vib., 167(3), pp. 461-480.
- [Liang *et al.* 2001], Y.C. Liang, D.P. Feng, J.E. Cooper, *Identification of restoring forces in non-linear vibration systems using fuzzy adaptive neural networks*, Journal of Sound and Vibration, 242, pp. 47-58.
- [Ljung 1999], L. Ljung (1999). *System identification theory*, Prentice Hall.
- [Loh *et al.* 2000], C.H. Loh, C.Y. Lin, C.C. Huang (2000). *Time domain identification of frames under earthquake loadings*, J. Eng. Mech. (ASCE), 126(7), pp. 693-703.
- [Loland *et al.* 1975], O. Loland, A.C. Mackenzie, R.D. Begg (1975). *Integrity of fixed steel offshore oil platforms*, BSSM/RINA Joint Conference on Measurement in Offshore Industry, Herriot Watt University, Edinburgh.
- [Lorenzoni 2016], F. Lorenzoni, F. Casarin, M. Caldon, K. Islamia and C. Modena (2016). *Uncertainty quantification in structural health monitoring: Applications on*

- cultural heritage buildings*, Mechanical Systems and Signal Processing , vol. 66-67, pp. 268-281.
- [Maia & Silva 1998], N.M.M. Maia, J.M.M. Silva, (1998). *Theoretical and experimental modal analysis*, Research Studies Press LTD.
- [Marchis 1988], V. Marchis (1988). *Modelli sperimentali di simulazione al personal computer*, SEI, Torino.
- [Masri *et al.* 1982], S.F. Masri, H. Sassi, T.K. Caughey (1982). *Nonparametric identification of early arbitrary nonlinear system*, J. Appl. Mech. (ASME), 49, pp. 619-628.
- [Masri *et al.* 2004], S.F. Masri, J.P. Caffrey, T.K. Caughey, A.W. Smyth, A.G. Chassiakos (2004). *Identification of the state equation in complex non-linear systems*, Int. J. Nonlin. Mech., 39, pp. 1111-1127.
- [MASTRLAB 2019], MASTRLAB DISEG, *Prove di caratterizzazione meccanica dei materiali e prove di carico sulla struttura di copertura del Padiglione V Torino Esposizioni*, Politecnico di Torino, Torino, 2019.
- [Meyer *et al.* 2003], S. Meyer, S. Weiland, M. Link (2003). *Modelling and updating of local non-linearities using frequency response residuals*, Mechanical Systems and Signal Processing, 17, pp. 219-226.
- [Miraglia 2019], G. Miraglia (2019). *Hybrid simulation techniques in the structural analysis and testing of architectural heritage*. PhD Thesis, Politecnico di Torino
- [Miraglia *et al.* 2020], G. Miraglia, E. Lenticchia, C. Surace, R. Ceravolo (2020). *Seismic damage identification by fitting the nonlinear and hysteretic dynamic response of monitored buildings*, J. Civil Structural Health Monitoring, 10(3), pp. 457-469.
- [Mitchell 2000], T.M. Mitchell (2000). *Machine Learning*, McGraw-Hill Science.
- [Morandi 1959], R. Morandi (1959). *Sistemazione area del Galoppatoio in Torino. Calcoli di stabilità*. Roma, 2 Aprile 1959, Archivio Maire Tecnimont, Torino.
- [Mottershead & Friswell 1993], J.E. Mottershead, M.I. Friswell (1993). *Model Updating In Structural Dynamics: A Survey*, Journal of Sound and Vibration, vol. 167(2), pp. 347-375.
- [Natke & Yao 1986], H.G. Natke, J.T.P. Yao, (1986). *Research topics in structural identification*. Proc. 3rd Conf. On Dyn. Response of Struct., American Society of Civil Engineers (ASCE), New York, pp. 542-550.
- [Natke *et al.* 1993], H.G. Natke, G.R. Tomlinson, J.T. Yao (1993). *Safety Evaluation Based on Identification Approaches*, Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden.
- [Nayfeh & Mook 1995], A.H. Nayfeh, D.T. Mook (1995). *Nonlinear oscillations*, Wiley-VCH, New York.
- [Newland 1999], D.E. Newland (1999). *Ridge and phase identification in the frequency analysis of transient signals by harmonic wavelets*, Journal of Vibration and Acoustics, 121, pp. 149-155.
- [Ni *et al.* 2005], Y.Q. Ni, X.G. Hua, K.Q. Fan, J.M. Ko (2005). *Correlating modal properties with temperature using long-term monitoring data and support vector machine technique*. Engineering Structures, 27(12), pp. 1762-1773.
- [Oberti 1966], G. Oberti (1966). *Le développement des essais sur modèles réduits de structures et l'exploitation des résultats*, IABSE publications, vol. 26, pp. 345-363.

- [Oliva 2022], V. Oliva (2022). *Methodological approaches to the condition assessment of reinforced concrete architectural heritage*, PhD Thesis, Politecnico di Torino.
- [Oliva *et al.* 2022], V. Oliva, E. Lenticchia, R. Ceravolo (2022). *Use of experimentally calibrated model as a strategy in the preservation of Morandi's post-tensioned Pavilion*, Proc. IASS 2022 Symposium affiliated with APCS 2022 conference Innovation Sustainability Legacy, 19 - 22 September 2022, Beijing, China.
- [Ozer *et al.* 2005], M.E. Ozer, H.N. Ozgüven, T.J. Royston (2005). *Identification of structural non-linearities using describing functions and Sherman-Morrison method*, Proc. 23rd International Modal Analysis Conference, Orlando, 2005.
- [Pan & Yang 2009], S.J. Pan, Q. Yang (2009). *A survey on transfer learning*, IEEE Transactions on knowledge and data engineering, 22(10), pp. 1345-1359.
- [Pan *et al.* 2010], S.J. Pan, I.W. Tsang, J.T. Kwok, Q. Yang (2010). *Domain adaptation via transfer component analysis*, IEEE Transactions on Neural Networks, 22(2), pp. 199-210.
- [Pecorelli *et al.* 2020], M.L. Pecorelli, R. Ceravolo, R. Epicoco (2020). *An Automatic Modal Identification Procedure for the Permanent Dynamic Monitoring of the Sanctuary of Vicoforte*, International Journal of Architectural Heritage, vol. 14(4), pp. 630-644.
- [Peeters & De Roeck 1999], B. Peeters, G. De Roeck (1999). *Reference-based stochastic subspace identification for output-only modal analysis*, Mech. Sys. Sig. Proc. 13, pp. 855-878.
- [Peeters & De Roeck 2001], B. Peeters, G. De Roeck (2001). *One-year monitoring of the Z24-Bridge: environmental effects versus damage events*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 30(2), pp. 149-171.
- [Peeters & De Roeck 2001], B. Peeters, G. De Roeck, *Stochastic system identification for operational modal analysis: a review*, J. Dyn. Sys. Meas. Control, 123, pp. 659-667.
- [Pei *et al.* 2004], J.-S. Pei, A.W. Smyth, E. Kosmatopoulos (2004). *Analysis and modification of Volterra/Wiener neural networks for the adaptive identification of non-linear hysteretic dynamic systems*, J. Sound Vib., 275, pp. 693-718.
- [Poulimenos & Fassois 2008], A.G. Poulimenos, S.D. Fassois (2008). *Output-only stochastic identification of a time-varying experimental structure via functional series TARMA models*, Mechanical Systems and Signal Processing, 23(4), pp. 1180-1204.
- [Priestley 1967], M.B. Priestley (1967). *Power spectral analysis of nonstationary processes*, Journal of Sound and Vibration, 6, pp. 86-97.
- [Ramos *et al.* 2010], L.F. Ramos, L. Marques, P.B. Lourenço, G. De Roeck, A. Campos-Costa, J. Roque (2010). *Monitoring historical masonry structures with operational modal analysis: Two case studies*, Mechanical System and Signal Processing, 24, pp. 1291-1305.
- [Ramos *et al.* 2010], L.F. Ramos, G. De Roeck, P.B. Lourenço, A. Campos-Costa (2010). *Damage identification on arched masonry structures using ambient and random impact vibrations*, Engineering and Structures, 32, pp. 146-162.
- [Reynders *et al.* 2008], E. Reynders, R. Pintelon, G. De Roeck (2008). *Uncertainty bounds on modal parameters obtained from stochastic subspace identification*, Mechanical Systems and Signal Processing, 22, pp. 948-969.
- [Roberts & Spanos 1990], J.B. Roberts, P.D. Spanos (1990). *Random Vibrations and Statistical Linearization*, Wiley, New York.

- [Rosemberg 1966], R.M. Rosenberg (1966). *On nonlinear vibrations of systems with many degrees of freedom*, Advances in Applied Mechanics, 9, pp. 155-242.
- [Saadat 2004], S. Saadat, G.D. Buckner, T. Furukawa, M.N. Noori (2004). *An intelligent parameter varying (IPV) approach for non-linear system identification of base excited structures*, Int. J. Nonlin. Mech., 39, pp. 993-1004.
- [Safak & Celebi 1991], E. Safak, M. Celebi (1991). *Seismic response of Transamerica building. II. System-identification*, Journal of Structural Engineering, ASCE, 117(8), pp. 2405-2425.
- [Safak 1991], E. Safak (1991). *Identification of linear structures using discrete-time filters*. Journal of Structural Engineering, ASCE 117(10), pp. 3064-3085.
- [Santelli *et al.* 2008], A. Santelli, M. Ratto, T. Andres, F. Campolongo, J. Cariboni (2008). *Global Sensitivity Analysis: the Primer*, Wiley, Chichester.
- [Sarmandi *et al.* 2016], H. Sarmandi, A. Karamodin, A. Entezami (2016). *A new iterative model updating technique based on least squares minimal residual method using measured modal data*, Applied. Math. Modelling, 40, pp. 10323-10341.
- [Scandella *et al.* 2011], L. Scandella, C. Lai, D. Spallarossa, M. Corigliano (2011). *Ground Shaking scenarios at the town of Vicoforte, Italy*, Soil Dynamic and Earthquake Engineering, vol. 21, pp. 757-772.
- [Scussolini *et al.* 2023], L. Scussolini, G. Coletta, V. Oliva, G. Miraglia, E. Lenticchia, R. Ceravolo (2023). *Sensitivity Analysis of the Environmental Effect on the Dynamics of Concrete Historical Architectures with Structural Joints*, in European Workshop on Structural Health Monitoring, Springer, Cham.
- [Shinozuka *et al.* 1982], M. Shinozuka, C.B. Yum, H. Imai (1982). *Identification of linear structural dynamic systems*, J. Engrg. Mech. Div., ASCE, 108(6), pp. 1371-1390.
- [Shull 2002], P.J. Shull (2002). *Nondestructive evaluation theory, techniques, and applications*, New York, NY, Marcel Dekker, Inc.
- [Sjöberg *et al.* 1995], J. Sjöberg, Q. Zhang, L. Ljung, A. Beneviste, B. Delyon, P.Y. Glorennec, H. Hjalmarsson, A. Juditsky (1995). *Nonlinear black-box modelling in system identification: a unified overview*, Automatica, 31, pp. 1691-1724.
- [Smarsly *et al.* 2016], K. Smarsly, K. Dragos, J. Wiggensbrock (2016). *Machine learning techniques for structural health monitoring*, Proc. 8th European Workshop on Structural Health Monitoring (EWSHM 2016), Bilbao, pp. 5-8.
- [Smyth *et al.* 2002], A.W. Smyth, S.F. Masri, E. Kosmatopoulos, A.G. Chassiakos, T.K. Caughey (2002). *Development of adaptive modelling techniques for non-linear hysteretic systems*, Int. J. Nonlin. Mech., 37, pp. 1435-1451.
- [Soderstrom & Stoica 1989], T. Soderstrom, P. Stoica (1989). *System Identification*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- [Soize & Le Fur 1997], C. Soize, O. Le Fur (1997). *Modal identification of weakly non-linear multidimensional dynamical systems using a stochastic linearization method with random coefficients*, Mechanical Systems and Signal Processing, 11, pp. 37-49.
- [Song *et al.* 2004], Y. Song, C.J. Hartwigsen, D.M. McFarland, A.F. Vakakis, L.A. Bergman (2004). *Simulation of dynamics of beam structures with bolted joints using adjusted*

- Iwan beam elements*, Journal of Sound and Vibration, 273, pp. 249-276.
- [Spina *et al.* 1996], D. Spina, C. Valente, G.R. Tomlinson (1996). *A new procedure for detecting nonlinearity from transient data using Gabor transform*, Nonlinear Dynamics, 11, pp. 235-254.
- [Staszewski 2000], W.J. Staszewski (2000). *Analysis of non-linear systems using wavelets*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C Journal of Mechanical Engineering Science, 214, pp. 1339-1353.
- [Taylor & Stone 2009], M.E. Taylor, P. Stone (2009). *Transfer learning for reinforcement learning domains: a survey*, Journal of Machine Learning Research, 10(1), pp. 1633-1685.
- [Tick 1961], L.J. Tick (1961). *The estimation of transfer functions of quadratic system*, Technometrics, 3, pp. 563-567.
- [Tipping 2001], M.E. Tipping (2001). *Sparse Bayesian learning and the relevance vector machine*, Journal of machine learning research, 1, pp. 211-244.
- [Ubertini *et al.* 2017], F. Ubertini, G. Comanducci, N. Cavalagli, A.L. Pisello, A.L. Materazzi, F. Cotana (2017). *Environmental effects on natural frequencies of the San Pietro bell tower in Perugia, Italy; and their removal for structural performance assessment*, Mechanical Systems and Signal Processing, 82, pp. 307-322.
- [Vakakis 1997], A.F. Vakakis (1997). *Non-linear normal modes and their applications in vibration theory: an overview*, Mechanical Systems and Signal Processing, 11, pp. 3-22.
- [Van Overschee & De Moor 1996], P. Van Overschee, B. De Moor (1996). *Subspace identification for linear systems: theory-implementation-applications*, Kluwer Academic Press Dordrecht (The Netherlands).
- [Vold *et al.* 1982], H. Vold, J. Kundrat, G.T. Rocklin, R. Russell (1982). *A multi-input modal estimation algorithm for mini-computers*, SAE Paper Number 820194.
- [Wang *et al.* 2003], L. Wang, J. Zhang, C. Wang, S. Hu (2003). *Time-frequency analysis of nonlinear systems: the skeleton linear model and the skeleton curves*, Journal of Vibration and Acoustics, 125, pp. 170-177.
- [Weiss *et al.* 2016], K. Weiss, T.M. Khoshgoftaar, D. Wang (2016). *A survey of transfer learning*, Journal of Big data, 3(1), pp. 1-40.
- [Worden & Manson 2006], K. Worden, G. Manson (2006). *The application of machine learning to structural health monitoring*, Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 365(1851), pp. 515-537.
- [Wu & Manson 2008], Wu, M. & Smyth, A.W. (2008). *Application of the unscented Kalman filter for real-time nonlinear structural system identification*, Structural Control and Health Monitoring, vol. 14(7), pp. 971-990.
- [Yang & Lin 2004], J.N. Yang, S. Lin (2004). *Hilbert-Huang based approach for structural damage detection*, Journal of Engineering Mechanics, 130, pp. 85-95.
- [Yang *et al.* 2003], J.N. Yang, Y. Lei, S.W. Pan, N. Huang (2003). *System identification of linear structures based on Hilbert-Huang spectral analysis; Part 1: Normal modes*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32, pp. 1443-1467.
- [Yang *et al.* 2003], J.N. Yang, Y. Lei, S.W. Pan, N. Huang (2003). *System identification of linear structures based on Hilbert-Huang spectral analysis; Part 2: Complex modes*,

Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32, pp. 1533-1554.

- [Yasuda *et al.* 1988], K. Yasuda, S. Kawamura, K. Watanabe (1988). *Identification of non-linear multi-degree-of-freedom systems (presentation of an identification technique)*, JSME International Journal, s. III, 31, pp. 8-14.
- [Yuen *et al.* 2002], K.-V. Yuen, J.L. Beck, L.S. Katafygiotis (2002). *Probabilistic approach for modal identification using non-stationary noisy response measurements only*, Earth. Eng. Struc. Dyn., 31(4), 1007-1023.
- [Zeiger & McEwen 1974], H.P. Zeiger, A.J. McEwen A.J. (1974). *Approximate linear realisations of given dimension via Ho's algorithm*, IEEE Transactions on Automatic Control, AC-19-2, 153.

CLASSE DI SCIENZE MORALI, STORICHE
E FILOLOGICHE

Mezzo secolo di informatica giuridica in Italia: dai codici a Internet. Una rievocazione soprattutto bio-bibliografica

MARIO G. LOSANO*

Memoria presentata nell'adunanza delle Classi Unite del 5 giugno 2023,
ricevuta il 2 luglio 2023, approvata nell'adunanza del 14 novembre 2023,
online dal 28 febbraio 2024

Abstract. *Legal informatics became established in Italy during the Sixties and in the year 1990 “Legal informatics” was officially included in the academic syllabus as a field of teaching in the “Disciplinary Group Jus 20” – Legal Philosophy. This location depends upon its origins connected with Legal Philosophy, a subject traditionally taught in the Law Schools. The present Memoria covers the dissemination of this subject retracing some significant stage of its development: the Italgire system of the Italian Supreme Court; the data bank of legal texts of the Region Lombardia; the use of CD-ROM; and finally the creation of a three-year degree course in legal informatics. Some specific bibliographies complement this map of the field.*

KEYWORDS: CD-ROM, “Centro di Giuscibernetica” (Turin), Degree course in legal informatics (Alessandria), “Istituto per la Documentazione Giuridica” (Florence), Legal philosophy and legal informatics, Legislative data bank, Mechanical calculation, Videoencyclopedia Einaudi.

Riassunto. *L'applicazione dell'informatica al diritto si è affermata in Italia a partire dagli anni Sessanta e, dal 1990, l'“informatica giuridica” è ufficialmente inclusa nel curriculum universitario come materia d'insegnamento del Gruppo disciplinare “Jus20” – Filosofia del diritto. Questa collocazione si spiega con le sue origini legate a quest'ultima materia già esistente nella facoltà di giurisprudenza. La presente Memoria ripercorre la diffusione della disciplina attraverso alcune tappe significative: il sistema Italgire della Corte di cassazione italiana; la banca di dati legislativi della regione Lombardia; il ricorso ai CD-ROM; e, infine, l'istituzione del corso di laurea triennale in informatica giuridica. Questa mappa della disciplina è integrata da alcune specifiche bibliografie.*

PAROLE CHIAVE: Banche di dati legislativi, Calcolo meccanico, CD-ROM, Centro di Giuscibernetica (Torino), Filosofia del diritto e informatica giuridica, Istituto per la Documentazione Giuridica (Firenze), Laurea in informatica giuridica (Alessandria), Videoenciclopedia Einaudi.

* Accademia delle Scienze di Torino, Via Maria Vittoria, 3, 10123 Torino.

1. Anni Sessanta: gli inizi dell'informatica giuridica in Italia

La presentazione all'Accademia delle Scienze dei due volumi in cui due amici e colleghi hanno raccolto i miei principali articoli di informatica giuridica è l'occasione per tracciare un bilancio dell'affermarsi di una disciplina – l'informatica giuridica – cui ho dedicato buona parte della mia vita accademica. È anche l'occasione per constatare che il mezzo secolo di evoluzione della disciplina coincide anche con mezzo secolo della mia attività accademica, come si può vedere nei miei numerosi scritti sull'argomento¹. Il ripercorrere queste due evoluzioni parallele trova dei punti fermi non tanto nei ricordi, sempre labili, quanto nelle pagine stampate nel corso di attività e incontri: pagine che hanno segnato l'affermarsi dell'informatica giuridica come materia di insegnamento e ricerca. Per questo prego il benevolo lettore di considerare queste pagine nulla più di *Una rievocazione soprattutto bio-bibliografica*.

Una più estesa storia dell'informatica giuridica, sulla quale torneremo più volte, sintetizza così l'affermarsi dell'informatica giuridica in Italia negli anni Sessanta:

Negli anni Sessanta si potevano contare sulle dita di una sola mano le persone o le organizzazioni interessate a ciò che ancora in pochi chiamavano informatica giuridica: 1) il già menzionato «Centro per la Documentazione Automatica»; 2) i magistrati della Corte di Cassazione, che nel 1964 avviarono un progetto di meccanizzazione della ricerca delle massime di giurisprudenza, nucleo embrionale del futuro sistema Italggiure; 3) Vittorio Frosini, i cui studi iniziano in una data precisa: 18 dicembre 1965, giorno della sua prolusione sul tema «Umanesimo e tecnologia nella giurisprudenza» presso la cattedra di filosofia del diritto all'Università di Catania; 4) l'IDG – Istituto per la Documentazione Giuridica del Consiglio Nazionale delle Ricerche con sede a Firenze, fondato nel 1968, con la sua sezione di documentazione automatica; 5) Mario G. Losano e il suo Centro di Giuscibernetica, istituito nel 1969 dall'Università di Torino. A partire da quei tempi «pionieristici», gli studi, le ricerche, le realizzazioni aumentarono progressivamente e altre istituzioni, in prevalenza pubbliche, affiancarono quelle iniziali, in particolare i due rami del Parlamento e in seguito l'Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato².

¹ *Bibliografia degli scritti di Mario G. Losano sull'informatica giuridica, 1966-2021*, in Losano, *Scritti di informatica e diritto. Per una storia dell'informatica giuridica*, a cura di Paolo Garbarino e di Massimo Cavino, Mimesis, Milano 2022, vol. 2, pp. 693-728.

² Ginevra Peruginelli e Mario Ragona (a cura di), *L'informatica giuridica in Italia. Cinquant'anni di studi, ricerche ed esperienze*, ESI, Napoli 2014, p. 26.

a) Il gruppo milanese: Gallizia-Maretti-Mollame

Il primo scritto italiano riconducibile all'informatica giuridica risale con ogni probabilità al 1962, quando una rivista del notariato riferì di un esperimento di documentazione mediante elaboratore su documenti relativi al fisco e all'edilizia³. Infatti nel luglio del 1962 l'esperimento era stato presentato al pubblico da un gruppo milanese che, negli anni seguenti, pubblicò numerosi scritti sull'informatica giuridica, a partire dal 1963⁴. Esso era costituito dal notaio Angelo Gallizia, dall'ingegner Enrico Maretti e dalla procuratrice legale Flora Mollame. In quegli anni l'informatica iniziava la sua diffusione in Italia, come si nota nella terminologia oggi desueta ricorrente nelle prossime citazioni. Questo gruppo milanese si proponeva – nel 1966 – di «presentare alcune esperienze di analisi del linguaggio giuridico realizzate meccanicamente con l'utilizzazione di calcolatori elettronici», strumenti diffusi «nelle scienze esatte e nelle attività di gestione», ma «totalmente ignorati nell'ambito del diritto»⁵. L'attività del gruppo milanese mirava a «rendere completamente indipendenti da interventi discrezionali dell'uomo le operazioni connesse con l'ordinamento e, fra queste, preliminarmente, la classificazione dei testi», collocando «la classificazione automatica nel più ampio quadro dell'analisi linguistica e della documentazione automatica»⁶.

La loro ricerca si muoveva dunque nell'area di confine tra la linguistica computazionale e l'informatica giuridica. Il gruppo milanese si proponeva però di superare gli obiettivi che si erano proposti nello scritto fin qui analizzato: «Si tratta solo di un lavoro preparatorio che deve condurre alla classificazione automatica di testi di diritto»⁷. In un altro scritto dello stesso anno i tre autori sintetizzano il loro esperimento, basato sui riassunti di 700 documenti di dottrina e di giurisprudenza fiscale, con una «procedura

³ F.A. Sala, *Introduzione ad un esperimento pilota per la ricerca automatica della giurisprudenza*, in «Rolandino. Monitore del Notariato», 1962, n. 7, pp. 1 ss.

⁴ Angelo Gallizia, *Esperienze di documentazione meccanica in campo giuridico*, in «La ricerca scientifica» (Consiglio Nazionale delle Ricerche), 1963, n. 11-12, pp. 294-316 (estratto, 26 pp.).

⁵ Angelo Gallizia, Enrico Maretti e Flora Mollame, *Diritto ed automazione, analisi automatica di testi giuridici: una ipotesi di lavoro*, Istituto editoriale Cisalpino, Milano-Varese [1966], 12 pp. + 2 pp. n.n. (estratto da: «Temì», novembre-dicembre 1966, n. 6); la citazione è a p. 1.

⁶ Id., *Primi contributi per una classificazione automatica di testi giuridici*, Giuffrè, Milano [1966?]; estratto da: «La scienza e la tecnica della organizzazione nella pubblica amministrazione», 1966, n. 4, pp. 526-550; la citazione è a p. 527 s.

⁷ Ivi, p. 11 s.

condotta in linguaggio COMIT»⁸, linguaggio di cui oggi si è di fatto persa memoria.

Può essere utile elencare qui di seguito i loro scritti di quegli anni, oggi di fatto reperibili soltanto con difficoltà:

- Angelo Gallizia, *Some principles of juridical methodology applied for documentation purposes: preliminary report on a study of automatic classification*, [Milano 1965?], 14 ss.
- Id., *Verso l'analisi automatica di testi in linguaggio naturale*, Ministero della difesa, Roma 1966 (volume senza paginazione)
- Id., *Per una classificazione automatica di testi giuridici*, Giuffrè, Milano 1974, VII-444 pp.
- Id., *Esperienze di documentazione meccanica in campo giuridico*, «La ricerca scientifica» (Consiglio Nazionale delle Ricerche), 1963, n. 11-12, pp. 294-316 (estratto, 26 pp.).
- Id., *Diritto ed automazione, analisi automatica di testi giuridici: una ipotesi di lavoro*, Istituto editoriale Cisalpino, Milano – Varese [1966], 12 pp. + 2 pp. n.n. (estratto da: «Temi», novembre-dicembre 1966, n. 6).
- Id., *Analisi automatica di testi giuridici*, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma 1966, 4 pp. (estratto da «La ricerca scientifica», 1966, n. 8, pp. 785-786).
- Id., *Primi contributi per una classificazione automatica di testi giuridici*, Giuffrè, Milano 1966; estratto da: «La scienza e la tecnica della organizzazione nella pubblica amministrazione», 1966, n. 4, pp. 526-550.

Questi tre autori contribuirono alla diffusione dell'informatica giuridica anche pubblicando numerosi articoli sul quotidiano «Il Giorno», articoli che ho potuto elencare nella bibliografia del 1993 «per pura coincidenza»⁹: infatti nell'Università di Milano, in cui insegnavo, «nell'istituto di Renato Treves

⁸ Id., *Analisi automatica di testi giuridici*, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma 1966, 4 pp. n.n. + 2 pp. numerate 3 e 4 (estratto da «La ricerca scientifica», 1966, n. 8, pp. 785-786); la citazione è a p. 3. Il testo è databile con precisione: «Testo ricevuto il 18 marzo 1966» (p. 3). Sul programma COMIT cfr. *Cenni sul programma*, in: Id., *Primi contributi per una classificazione automatica di testi giuridici*, Giuffrè, Milano [1966]; estratto da: «La scienza e la tecnica della organizzazione nella pubblica amministrazione», 1966, n. 4, pp. 526-550; la citazione è a p. 547.

⁹ Losano, *I primi anni dell'informatica giuridica in Italia*, in AA.VV., *La cultura informatica in Italia. Riflessioni e testimonianze sulle origini. 1950-1970*, Bollati Boringhieri, Torino 1993, pp. 193-236 (pubblicazioni della Fondazione Adriano Olivetti); la citazione è a p. 197. Le ultime pagine di questo contributo (pp. 229-236) contengono un'esauriente bibliografia, fino al 1971, dei primi scritti in lingua italiana o pubblicati in Italia sull'informatica giuridica.

lavorava anche Paola Ronfani, figlia dell'Ugo Ronfani allora direttore de «Il Giorno». Per questa via mi venne così messa a disposizione una raccolta di articoli più completa di quella disponibile presso lo stesso Gallizia¹⁰.

Enrico Maretti pubblicò numerosi articoli che documentano le sue ricerche sulla schedatura e sulla collazione di manoscritti con l'uso dell'elaboratore, quindi sempre in un'area di confine più della linguistica computazione che dell'informatica giuridica:

– Enrico Maretti, *Introduzione alla schedatura computerizzata*, s.l., s.d., 1976, 12 pp. (dattiloscritto; Regione Lombardia – Museo Poldi Pezzoli – Musei Civici di Milano, Corsi biennali per l'aggiornamento e per la preparazione professionale del personale direttivo dei musei lombardi di enti locali o di interesse locale).

– Enrico Maretti – Gian Piero Zarri, *Collatio codicum: an exercise in COMIT programming*, Consiglio nazionale delle ricerche, Roma 1967, 6 pp. (estratto da «La rivista scientifica», anno 37, numero 6, Roma, giugno 1967).

– Enrico Maretti – Gian Piero Zarri, *Su un'applicazione dei calcolatori relativa alla 'collatio codicum': un ausilio moderno per l'edizione critica dei testi*. Nota presentata dal Prof. Ignazio Cazzaniga presso l'Istituto lombardo di scienze e lettere), Centro di cibernetica e di attività linguistiche, Milano 1966, 12 pp.

– Antonio Anselmo Martino – Enrico Maretti – Costantino Ciampi, *Modelli operativi di sistemi giuridici positivi. Guida alla lettura di 'Logica, informatica, diritto'*, Le Monnier, Firenze 1978, 53 pp. (estratto da: «Informatica e diritto», 1978, n. 2: su questa rivista, cfr. *infra*, p. 152 s.).

Il tema dell'applicazione dell'informatica al diritto non aveva allora uno specifico *status* accademico e quindi gli scritti riconducibili ai suoi temi venivano pubblicati in riviste specializzate in materie accademicamente più affermate. Sarebbe quindi difficile, a distanza di tempo, reperire quei testi pionieristici, se oggi alcune bibliografie di quegli anni non aiutassero a ripercorrere il primo cinquantennio dell'informatica giuridica in Italia.

Col passare del tempo, l'affermarsi della materia indusse a tentare alcune rassegne storiche della sua evoluzione ormai pluridecennale. Nel 1968 Renato Treves – che stava introducendo la sociologia del diritto in Italia – ospitò in un volume collettivo sulla sociologia del diritto una mia bibliografia

¹⁰ Losano, *I primi anni dell'informatica giuridica in Italia*, in AA.VV., *La cultura informatica in Italia. Riflessioni e testimonianze sulle origini. 1950-1970*, Bollati Boringhieri, Torino 1993, p. 197.

intitolata *Gli studi di giuscibernetica*, nella quale elencavo un centinaio di titoli italiani e stranieri¹¹. Nel 1993 pubblicai una bibliografia (che giunge fino al 1971) dei primi scritti in lingua italiana o pubblicati in Italia sull'informatica giuridica¹². Un ventennio dopo quel mio tentativo, cioè nel 2014, due ricercatori che facevano capo all'«Istituto per la documentazione giuridica» di Firenze prepararono un volume collettivo dedicato a mezzo secolo di studi informatico-giuridici¹³. Esso costituisce un importante punto di riferimento per la ricostruzione della storia dell'informatica giuridica¹⁴: particolarmente utile la dettagliata *Cronologia delle tappe rilevanti dell'informatica giuridica in Italia*, che permette di seguire l'evoluzione e l'affermarsi dell'informatica giuridica in Italia dal 1962 al 2012¹⁵.

L'«Istituto per la documentazione giuridica» (IDG) di Firenze ha una posizione di particolare rilievo nello sviluppo dell'informatica giuridica in Italia e la sua storia deve qui essere concentrata in poche righe. Nato nel 1968 sotto l'egida del CNR, si trasformò poi nell'«Istituto di Teoria e Tecniche dell'Informazione Giuridica» (ITTIG) e, dal 2019, nell'«Istituto di Informatica Giuridica e Sistemi Giudiziari» (IGSG), sempre sotto l'egida del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Dal 1975 al 2018 pubblicò (con varia periodicità) la rivista «Informatica e diritto», inizialmente l'unica rivista su questo argomento. In parallelo con le trasformazioni dell'IDG, a quella rivista succedette dal 2019 la «Rivista italiana di informatica e diritto. Periodico internazionale del CNR-IGSG», disponibile su Internet.

¹¹ Una cinquantina di titoli sono elencati in *Bibliografia Italiana*, pp. 316-320, seguita da un'altra cinquantina in *Bibliografia internazionale*, pp. 321-325: Losano, *Gli studi di giuscibernetica*, in: *Nuovi sviluppi della sociologia del diritto 1966-1967*, a cura di Renato Treves, Edizioni di Comunità, Milano 1968, pp. 307-325.

¹² Losano, *I primi anni dell'informatica giuridica in Italia*, in AA.VV., *La cultura informatica in Italia. Riflessioni e testimonianze sulle origini. 1950-1970*, Bollati Boringhieri, Torino 1993, pp. 193-236 (pubblicazioni della Fondazione Adriano Olivetti). Le ultime pagine di questo contributo (pp. 229-236) contengono un'esauriente bibliografia, fino al 1971, dei primi scritti in lingua italiana o pubblicati in Italia sull'informatica giuridica.

¹³ Ginevra Peruginelli e Mario Ragona (a cura di), *L'informatica giuridica in Italia. Cinquant'anni di studi, ricerche ed esperienze*, ESI, Napoli 2014, 700 pp. Questi studiosi si erano formati nell'«Istituto per la documentazione giuridica» (IDG).

¹⁴ Il volume si divide in quattro parti (*La disciplina; I protagonisti; Le voci internazionali; Il dibattito nell'IDG*), cui si aggiungono due importanti strumenti di ricerca: 1. *Cronologia delle tappe rilevanti dell'informatica giuridica in Italia*; 2. *Bibliografia delle opere generali edite in Italia su informatica giuridica*. L'intero testo è reperibile sul sito (<http://www.ittig.cnr.it/risorse/attivita-editoriale/collana/studi-documenti/serie-studi-documenti-numero-12/>).

¹⁵ *Cronologia delle tappe rilevanti dell'informatica giuridica in Italia*, in Peruginelli e Ragona (a cura di), *L'informatica giuridica in Italia*, cit., pp. 643-646.

Nel volume di Ragona e Peruginelli, sopra menzionato, pubblicai un dettagliato resoconto dell'istituzione del primo corso di laurea triennale in Italia dedicato all'informatica giuridica¹⁶ (tema sul quale ritornerà più in dettaglio il § 7), perché intanto, da parte del ministero, era giunto il riconoscimento ufficiale della materia «informatica giuridica».

Ma ora conviene ritornare agli anni Sessanta e ai primi passi dell'informatica giuridica in Italia.

b) Tra umanesimo e tecnologia: Vittorio Frosini

Il filosofo del diritto Vittorio Frosini (1922-2001) pubblicò nel 1966 un articolo antesignano: *La cibernetica e il diritto*¹⁷. Egli stesso mi descrisse il suo incontro con il mondo dell'informatica in una vivace lettera del 20 ottobre 1988, in cui narra come giunse a trovare il tema per la sua prolusione del 18 dicembre 1965 all'Università di Catania, pubblicata poi con il titolo *Umanesimo e tecnologia nella giurisprudenza*.

Sfogliando, in un momento di ozio, le pagine illustrate del settimanale «Oggi», mi colpì la fotografia di una bella ragazza in tenuta da calciatore, e lessi la didascalia. Si trattava di una giovane svizzera, chiamata Madeleine Boll, la quale aveva inserito la propria richiesta di iscrizione nella categoria dei giocatori professionisti in un elaboratore elettronico, che la Federazione delle società sportive calcistiche aveva adottato per il controllo e l'accettazione delle richieste. L'elaboratore aveva rilasciato il relativo tesserino, ma non sapendo fare la differenza fra i due sessi, aveva concesso, per così dire di sua iniziativa, per la prima volta l'autorizzazione a giocare in un torneo regolare di calcio

¹⁶ Losano, *Il corso triennale di informatica giuridica dell'Università del Piemonte Orientale*, in Ginevra Peruginelli e Mario Ragona (a cura di), *L'informatica giuridica in Italia*, cit., pp. 119-148. Ripreso poi nel 2022: *Il corso triennale di informatica giuridica dell'Università del Piemonte Orientale (2014)*, in: Losano, *Scritti di informatica e diritto. Per una storia dell'informatica giuridica*, a cura di Paolo Garbarino e Massimo Cavino, Mimesis, Milano 2022, vol. 2, pp. 685-691.

¹⁷ Vittorio Frosini (1922-2001), *La cibernetica e il diritto*, in «Civiltà delle macchine», 1966, n. 1, pp. 31-34. Su Frosini: Losano, *Vittorio Frosini (1922-2001)*, in «Sociologia del diritto», 2001, n. 3, pp. 193-197; Un quadro complessivo è tracciato dal figlio, nel cap. IV. *L'informatica giuridica*, pp. 37-44, in Tommaso Edoardo Frosini, *Vittorio Frosini giureconsulto e umanista*, Editoriale scientifica, Napoli 2023, 79 pp. Le indicazioni bibliografiche in quest'ultimo scritto completano la bibliografia di Vittorio Frosini dal 1941 al 1993: Roberto Russano (a cura di), *Vittorio Frosini: bibliografia degli scritti (1941-1993)*, Giuffrè, Milano 1994, XV-164 pp.

ad una donna. Mi accorsi subito di aver trovato l'argomento per il mio discorso. [...] Si pubblicava in quegli anni una bella rivista, intitolata «Civiltà delle macchine» e diretta da F[rancesco] Flores d'Arcais, alla quale cominciai a collaborare con un articolo su *Il diritto artificiale* [...]. Altri seguirono sulla stessa rivista nel corso di due anni, sicché alla fine del 1967 potei comporre un volumetto, *Cibernetica, diritto e società*, che uscì nel 1968 per le edizioni di Comunità nella collana diretta da R[enato] Treves e U[berto] Scarpelli, e che ebbe in seguito quattro edizioni, accresciute di volta in volta di nuovi contributi¹⁸.

La successiva storia di quel fortunato volume, ora esaurito, riflette i cambiamenti che sono andati susseguendosi nel mondo editoriale italiano: oggi non esistono più né la rivista «Civiltà delle macchine», né la casa editrice Comunità. Intanto l'informatica ha pervaso la nostra società e, con la sua diffusione, si è affermata e consolidata anche l'informatica giuridica.

c) La sociologia del diritto apre la via alla 'giuscibernetica'

In Europa, sotto l'influenza degli Stati Uniti, si occupavano di *information retrieval* di documenti giuridici soprattutto avvocati e notai dell'area francese, con i quali lavoravo in stretto contatto. Per questo nel 1967 pubblicai una rassegna degli studi di informatica giuridica estesa a tutta l'Europa¹⁹.

In quegli anni il sociologo del diritto Renato Treves curava – con il filosofo del diritto Uberto Scarpelli – la collana «Diritto e cultura moderna» presso le edizioni di Comunità e in essa accolse anche i primi contributi della nascente informatica giuridica. Nel 1968 il filosofo del diritto Vittorio Frosini pubblicò in quella collana la raccolta dei suoi saggi su diritto e informatica²⁰. Nello stesso anno, nel volume in cui Treves faceva il punto degli studi di sociologia

¹⁸ Lettera di Vittorio Frosini a Mario G. Losano, datata Roma, 20 ottobre 1988; la lettera di Vittorio Frosini occupa un'intera pagina a stampa in Losano, *I primi anni dell'informatica giuridica in Italia*, in AA.VV., *La cultura informatica in Italia. Riflessioni e testimonianze sulle origini. 1950-1970*, Bollati Boringhieri, Torino 1993, p. 199 s., e fornisce notizie anche su altre pubblicazioni informatico-giuridiche di Frosini di quegli anni. La sua prolusione del 1965, *Umanesimo e tecnologia nella giurisprudenza*, è in «Rivista internazionale di filosofia del diritto», 1966, pp. 451-468.

¹⁹ Losano, *Cibernetica e diritto in Europa*, in «Il Ponte. Rivista mensile di politica e letteratura», XXIII, 1967, n. 12, pp. 1589-1602.

²⁰ Vittorio Frosini, *Cibernetica, diritto e società*, Comunità, Milano, 1968, 128 pp.

del diritto, io pubblicai una sintesi e una bibliografia degli studi informatico-giuridici, introducendo il neologismo «giuscibernetica»²¹, che traeva origine da un'asserzione profetica del padre della cibernetica, Norbert Wiener: «I problemi giuridici sono per loro natura problemi di comunicazione e di cibernetica, e cioè sono problemi relativi al regolato e ripetibile governo di certe situazioni critiche»²².

Renato Treves commentava: «Il termine giuscibernetica è un neologismo che vede la luce nello scritto di M. Losano qui pubblicato, neologismo di cui l'autore si serve per indicare genericamente ogni approccio della cibernetica al diritto. Con questo termine si indica una disciplina che, da un lato, si distingue dalla sociologia del diritto in quanto si occupa di problemi logico-matematici ad essa estranei e, d'altro lato, coincide con questa materia perché rivolge la sua attenzione anche a problemi di cui la materia stessa non può non interessarsi. [...] È quindi sembrato opportuno chiudere il volume stesso con la nota di M. Losano sulla giuscibernetica, seguita da una bibliografia italiana completa di scritti sulla materia, e da una delle più vaste bibliografie selettive dedicate esclusivamente al problema dell'elaborazione elettronica dei dati giuridici»²³.

In realtà, l'entusiasmo mi aveva portato a preparare un testo molto più lungo di quanto il volume potesse contenere e lo stesso Treves me ne consigliò una duplice versione: una ridotta, per la pubblicazione nel volume da lui curato, e una estesa, da pubblicare autonomamente: nacque così il libro *Giuscibernetica. Macchine e modelli cibernetici nel diritto*, pubblicato nel 1969²⁴.

²¹ Losano *Gli studi di giuscibernetica*, in: *Nuovi sviluppi della sociologia del diritto 1966-1967*, a cura di Renato Treves, Edizioni di Comunità, Milano 1968, pp. 307-325. Anche: *Gli studi di giuscibernetica (1968)*, in: Losano, *Scritti di informatica e diritto. Per una storia dell'informatica giuridica*, a cura di Paolo Garbarino e Massimo Cavino, Mimesis, Milano 2022, vol. 1, pp. 93-105.

²² Ho collocato questa citazione *en exergue* nel libro *Giuscibernetica*, p. 15 n.n.: cfr. *infra*, nota 24.

²³ Renato Treves, *Introduzione*, in *Nuovi sviluppi della sociologia del diritto 1966-1967*, a cura di Renato Treves, Edizioni di Comunità, Milano 1968, p. 27 s.; *Bibliografia italiana*, pp. 316-320; *Bibliografia internazionale*, pp. 321-328.

²⁴ Losano, *Giuscibernetica. Macchine e modelli cibernetici nel diritto*, Einaudi, Torino 1969, 205 pp. Tradotto in croato nel 1990: *Pravna kibernetika. Kibernetički strojevi i modeli u pravu*, Prijevod Živko Anzulović, Književni krug, Split 1990, 120 pp.) e ora in corso di traduzione in spagnolo.

2. L'informatica giuridica e le sue radici nella filosofia del diritto

Dopo la laurea nel 1962, mi preparavo alla libera docenza con Norberto Bobbio, che in quell'epoca si interessava anche alla logica applicata al diritto: disciplina cui si dedicava il mio amico Amedeo G. Conte, destinato a divenire uno dei più attenti cultori non solo italiani della logica deontica. Tuttavia la logica deontica mi sembrava troppo astratta e non riuscivo a vederne l'applicazione alla concreta vita giuridica. Fu durante quella fase di incertezza che, attraverso mio padre, entrai in contatto con l'informatica. Infatti mio padre era stato uno dei primi ad applicare gli elaboratori alle assicurazioni (il suo campo di attività) ed io, per tramite suo, scoprii i corsi di logica della programmazione presso la società Honeywell. Quel termine 'logica' nel titolo del corso mi sembrò il ponte gettato tra la filosofia del diritto e l'informatica. Presso la società Honeywell seguii anche i corsi di programmazione in Cobol (Common Business-Oriented Language: oggi un reperto di archeologia informatica). Avevo ormai deciso quale via seguire: però continuavo anche i tradizionali studi di filosofia del diritto su Hans Kelsen, su Rudolf von Jhering e sulle nozioni di 'sistema' e 'struttura' nel diritto, perché negli anni Sessanta l'informatica (anche se giuridica) non mi avrebbe mai fatto superare un concorso per la cattedra universitaria di filosofia del diritto.

Per tenere sotto controllo questa pluralità di interessi, procedevo per piani che realizzavo gradualmente. Il mio primo piano per affrontare l'informatica giuridica è accennato nel mio articolo nel 1967 sul «Ponte» (cfr. *supra*, nota 19); in esso mi proponevo: a) la creazione di una bibliografia annuale di informatica giuridica; b) la raccolta delle pubblicazioni e di microfilm presso un'istituzione che, nell'università, fungesse da punto d'incontro e da propulsore nelle ricerche di informatica giuridica; c) l'ottenimento di un regolare accesso a un grande elaboratore, perché i ragionamenti teorici dovevano essere accompagnati da esperimenti pratici. Ripercorrendoli oggi, essi individuano un possibile itinerario di sviluppo dell'informatica giuridica ai suoi esordi.

a) Le prime e parziali realizzazioni del piano sopra accennato portarono a una raccolta bibliografica, confluita nel 1993 ne *I primi anni dell'informatica giuridica in Italia* (cfr. *supra*, nota 9).

b) Segui poi la creazione di un centro per raccogliere e conservare il materiale e le pubblicazioni sull'informatica giuridica: «Il Centro di Giuscibernetica dell'Università di Torino venne istituito il 4 giugno 1969 dal Consiglio della Facoltà di Giurisprudenza di Torino su proposta del professor Norberto

Bobbio»²⁵. Questo centro pubblicò la rivista «Systema» e un «Bollettino» ciclostilato²⁶, nonché alcuni volumi²⁷: attività effimere che terminarono con la chiusura del Centro stesso nel 1973, perché Norberto Bobbio nel 1972 era passato alla Facoltà di Scienze Politiche e a Torino gli era subentrato Uberto Scarpelli. Sull'appoggio di Bobbio alle mie attività e, soprattutto, sull'atmosfera che mi circondava dopo il suo cambio di facoltà, così scriveva Bobbio stesso a un docente svizzero: «Raramente mi è accaduto di trovarmi con uno studioso che abbia il talento organizzativo di Losano. È altrettanto tenace e perseverante nei propositi quanto preciso e instancabile nell'esecuzione. Da solo, con pochi mezzi, *in un ambiente non ostile ma indifferente* egli è riuscito in poco tempo a istituire il primo centro di cibernetica del diritto in Italia e a pubblicare prima un *Bollettino* poi una rivista (*Systema*), il cui materiale è stato raccolto esclusivamente grazie alla sua iniziativa e attraverso contatti personali con collaboratori soprattutto stranieri»²⁸.

«Un ambiente non ostile ma indifferente»: «Al buen entendedor, pocas palabras», si legge nel *Quijote*. Chiuso il centro; Bobbio in un'altra facoltà; io senza stipendio per un colossale pasticcio amministrativo che nessuno voleva risolvere: partii per la Yale Law School.

c) Infine – terzo punto del mio piano – riuscii ad avere regolarmente accesso a un grande computer attraverso la società IBM e il Centro Nazionale Universitario di Calcolo Elettronico (Cnuce) di Pisa. A Pisa, patria di Galileo Galilei, dal 1961 era in funzione la «Calcolatrice Elettronica Pisana» (CEP) sostituita nel 1964 dall'(allora) avanzatissimo IBM 7090, che la società americana affidò in comodato all'università pisana. In quel centro convergevano dunque le due anime imprenditoriale e accademica; inoltre – poiché lì si trovava il maggior elaboratore allora a disposizione delle università italiane – vi

²⁵ «Systema», 1972, n. 1, p. 5.

²⁶ «Systema. International Review for Cybernetics, Informatics and Law», n. 1, 1972; n. 2, 1972, n. 3, 1972; n. 4, 1973; «Bulletin», n. 1, 1969; n. 2, 1970; n. 3, 1970; n. 4, 1970 (ciclostilato, per tenere il passo con le innovazioni). Vi si pubblicavano articoli in inglese, francese e italiano.

²⁷ I tre volumi pubblicati comprendono gli atti del congresso di Bangkok: *Law, The computer and Government – Le droit, l'ordinateur et l'État*, Rapports présentés à la Conférence mondiale de Bangkok de la paix mondiale par le droit (7-12 septembre 1969), Cooperativa Libreria Universitaria Editrice, Torino 1970, 91 pp.; Giorgio Roz, *L'analisi e la progettazione di sistemi informativi*, id., 159 pp.; Losano, *Corso di informatica giuridica*, Cooperativa Universitaria Editrice Milanese, Milano 1971, VI-325 pp. (cfr. anche *infra*, nota 33).

²⁸ Centro Studi Piero Gobetti, Archivio Norberto Bobbio, 2753; Mario G. Losano, 1961-2002: Norberto Bobbio a Giovanni Busino, Centre d'études sociologiques, Lausanne, Torino, 15 dicembre 1973; lettera inedita, corsivo mio; però non emigrai a Losanna, ma alla Yale Law School.

convergevano ricercatori di ogni settore, come il maestro Pietro Grossi per i suoi esperimenti di musica elettronica o il linguista Antonio Zampolli per la linguistica computazionale. Dalla convivenza nei medesimi locali nascevano anche ricerche interdisciplinari: per esempio, dal contatto con Antonio Zampolli nacque il mio interesse per la linguistica computazionale applicata al diritto²⁹, in cui anni dopo coinvolti anche Norberto Bobbio (cfr. § 6, b).

Insomma, lavorare al Cnuce significava essere all'avanguardia, come attesta la lapide apposta sulla facciata: «In questo edificio che ospitava l'istituto Cnuce del CNR, già Centro Nazionale Universitario di Calcolo Elettronico dell'ateneo pisano, il 30 aprile 1986 è stato attivato il primo nodo della rete Internet in Italia – Aprile 2016».

I corsi di informatica giuridica all'Università Statale di Milano si rivelarono assai stimolanti. Nel volume *Giuscibernetica* del 1969 avevo individuato quattro approcci giuscibernetici al diritto. Nel primo approccio, il diritto «viene considerato come un sottosistema rispetto al sociale e si studiano i rapporti di interazione tra i due secondo un modello cibernetico». Nel secondo approccio, il diritto «viene studiato come sistema normativo, dinamico e autoregolante» e «si cerca di individuare una struttura cibernetica del sistema giuridico». Nel terzo approccio, il passaggio all'elaboratore elettronico «presuppone una formalizzazione del linguaggio giuridico» mediante «la logica formale applicata al diritto, l'analisi del linguaggio giuridico, e, in genere, gli studi di teoria generale del diritto». Infine, il quarto approccio «è il settore interdisciplinare che segna il confine fra la giuscibernetica e la tecnologia degli elaboratori elettronici»³⁰.

Nell'ultimo capitolo (*Quarto approccio giuscibernetico: l'utilizzazione pratica dei precedenti approcci*) approfondivo questo «quarto settore» di confine così: «Il quarto tipo di approccio giuscibernetico consiste nello studio delle tecniche in base alle quali un concreto problema giuridico viene trattato con un elaboratore»³¹; in altre parole, il giurista informatico dove collaborare con i tecnici e i programmatori per realizzare concrete applicazioni

²⁹ Losano, *Lessicografia computazionale e informatica giuridica*, in «Rivista internazionale di filosofia del diritto», XLIII, 1971, n. 2-3, pp. 349-353; Id., *Lexicographie computationnelle et informatique juridique*, in: *Linguistica, matematica e calcolatori*. Atti del convegno e della prima scuola internazionale (Pisa, 16/VIII-6/IX/1970), Olschki, Firenze 1973, pp. 299-303; Id., *Lexicografía computacional e informática jurídica*, in «Revista de Procuradoria Geral do Estado» (Porto Alegre), 1980, pp. 67-71.

³⁰ Losano, *Giuscibernetica. Macchine e modelli cibernetici nel diritto*, Einaudi, Torino 1969, p. 108.

³¹ Id., *Giuscibernetica*, cit., p. 173.

dell'informatica a specifici problemi di diritto. Perciò concludevo così il volume: «A questo punto dell'esposizione bisognerebbe fornire ciò che ancora manca (e non solo in Italia), cioè una descrizione precisa delle tecniche per il reperimento del dato giuridico. Ciò esigerebbe un ampio discorso tecnico-pratico, profondamente diverso da quello affrontato in queste pagine»; perciò rinvio «ad un altro momento la trattazione dei problemi tecnici»³². E infatti dal 1970 i «problemi tecnici» costituirono l'oggetto dei miei corsi all'università di Milano e si concretarono in una serie di pubblicazioni che estendevano ed affina-
vano la tematica.

Nel 1985 riassumevo così l'itinerario sino ad allora percorso e le realizzazioni che l'avevano accompagnato: come si è visto, «in un libro del 1969 avevo lasciato in sospeso la descrizione degli aspetti tecnici della materia»: aspetti tecnici cui dedicai l'insegnamento degli anni successivi. Poiché su questi temi tecnici non esistevano libri adatti agli studenti di giurisprudenza, nel 1971 raccolsi le mie lezioni «in un volume di dispense»³³ che, sottoposto a revisioni ed integrazioni, giunse così alla terza edizione nel 1984 come manuale in tre volumi [editi come dispense ciclostilate³⁴]. La sua adozione in più università rese necessaria una forma meno provvisoria e una tiratura più elevata³⁵: di qui i tre volumi presso l'editore Einaudi³⁶.

A questa impresa editoriale contribuì il vivo interesse gli studenti per l'informatica giuridica. Dicevo scherzando che gli studenti sono come i vini: ci sono annate normali e annate eccezionali. Ebbene, per me gli studenti del 1971 furono un'annata «millesimée», tanto che alcuni di loro continuarono a collaborare con me negli anni successivi, pubblicando anche interessanti

³² Id., *Giuscibernetica*, cit., p. 174.

³³ Losano, *Corso di informatica giuridica*, Cooperativa Universitaria Editrice Milanese, Milano 1971, VI-325 pp. (Centro di Giuscibernetica dell'Università di Torino, Quaderno n. 3).

³⁴ Losano, *Corso di informatica giuridica*. Seconda edizione ampliata; Volume 1: *L'elaborazione dei dati non numerici*, Unicopli, Milano 1981, XXIII-316 pp.; Volume 2: *Il diritto dell'informatica*, Unicopli, Milano 1981, pp. XXV-(317-)-543 pp.; Id., *Corso di informatica giuridica*. Terza edizione, Volume 1: *L'elaborazione dei dati non numerici*, Unicopli, Milano 1984, XXXI-317 pp. Volume 2: *Il diritto dell'informatica*, Unicopli, Milano 1984, XXXI-[317-543] + 16 pp.; completato da Losano, *Corso di informatica giuridica*. Seconda edizione ampliata. Volume 3: *L'analisi delle procedure giuridiche*, Unicopli, Milano 1984, XXI-544-814 pp.

³⁵ Losano, *Corso di informatica giuridica*, vol. I. *Informatica per le scienze sociali*, Einaudi, Torino 1985, XXI-547 pp., la citazione è a p. XVII.

³⁶ Losano, *Corso di informatica giuridica*: I. *Informatica per le scienze sociali*, Einaudi, Torino 1985, XXI-547 pp.; II. *Il diritto privato dell'informatica*, Einaudi, Torino 1986, XVIII-298 pp.; III. *Il diritto pubblico dell'informatica*, Einaudi, Torino 1986, IV-348 pp.

ricerche. Tra di essi ricordo con rimpianto Ermanno Bonazzi, mancato già nel 2020: egli approfondì i temi del corso³⁷ lavorando dopo la laurea all'Agenzia Regionale dei Dati della Lombardia, a Milano³⁸; a lui è oggi intitolata l'aula informatica della fondazione «Le Vele» della sua Pavia. Alcuni dei partecipanti più attivi contribuirono ad allargare l'ambito di indagine: l'avvocato Cesare Triberti approfondì il settore del diritto dell'informatica e inaugurò il tema dei reati informatici³⁹; Alberto Bergamaschi – con l'esperienza aziendale acquisita presso l'Elettronica San Giorgio (ELSAG) di Genova-Sestri⁴⁰ – approfondì le ricerche sulla diagrammazione a blocchi delle procedure giuridiche⁴¹, mentre Anna Fiaccadori ritornò al tema più giusfilosofico della logica simbolica, collegata però con l'informatica⁴².

Con questo gruppo degli allievi «millesimés» era possibile compiere anche attività extra-accademiche, come il viaggio di gruppo a Parigi per visitare l'appena insediata «Commission Informatique et Libertés» (CNIL, fondata 6 gennaio 1978 e antesignana di un'istituzione che non esisteva ancora in Italia); o, il sabato, andare a correre tutti insieme al Parco Forlanini. Insomma, grande annata il 1971!

³⁷ Ermanno Bonazzi, *L'informatica delle modifiche legislative. Un esperimento sulla normativa regionale*, Rosenberg & Sellier, Torino 1979, 168 pp.; Provincia di Milano, Assessorato cultura (a cura di), *Informatica per le biblioteche*: 1. *Elementi sull'elaborazione dei dati non numerici*, relazione di Mario G. Losano, Milano 1979, 119 pp.; 2. *Tre esempi di programma di automazione delle biblioteche*, relazione di Ermanno Bonazzi, ivi, 132 pp.

³⁸ Oggi «Lombardia informatica SpA», costituita nel 1981 e interamente controllata dalla Regione Lombardia.

³⁹ Ermanno Bonazzi e Cesare Triberti, *Guida ai contratti di informatica*: 1. *Compravendita e comodato*, Unicopli, Milano 1984, 203 pp.; 2. *Contratti di software: licenza d'uso di software, compravendita di software, sviluppo di software*, Unicopli, Milano 1985, 326 pp.; (anche: IPSOA informatica, Milano 1990, 252 pp.); 3. *Noleggio, manutenzione, leasing, service, joint venture*, Unicopli, Milano 1988, 377 pp. Inoltre: Cesare Triberti (a cura di), AA. VV., *I reati informatici: computer security*; Etaslibri, Milano 1990, VI-192 pp.

⁴⁰ La società San Giorgio, fondata nel 1905, nel 1969 venne incorporata nella società statale Finmeccanica all'interno della quale subì vari riassetti, operando nei settori civile e militare. Vedi Michele Nones, *Dalla San Giorgio alla Elsas. Da grande gruppo industriale ad industria elettronica avanzata (1905-1969)*, Angeli, Milano 1990, 305 pp.

⁴¹ Alberto Bergamaschi, Ermanno Bonazzi e Mario G. Losano, *Diagrammazione a blocchi e programmazione reticolare di procedure giuridiche*, Ufficio di Presidenza del Consiglio Regionale della Lombardia, Milano 1979, III-169 pp.

⁴² Anna Fiaccadori, *Appunti di logica simbolica*, Unicopli, Milano 1981, 48 pp.; cfr. la mia introduzione *Diritto, logica, informatica*, pp. 5-10.

3. La storia del calcolo meccanico come preistoria del computer

Intanto ero divenuto consulente dell'Amministratore delegato della società Siemens Data, la divisione della multinazionale tedesca che si occupava degli elaboratori elettronici. L'interesse degli studenti e la disponibilità anche culturale della società è all'origine di una serie di pubblicazioni sulla storia del calcolo meccanico. Infatti ritenevo opportuno sviluppare questo settore di ricerca – apparentemente lontano dall'informatica – per ricostruire il retroterra storico del «computer», che, nella vulgata degli anni Sessanta, veniva presentato come nato d'improvviso e perfetto negli Stati Uniti del dopoguerra: qualcosa di simile a Minerva che uscì dal cervello di Giove già armata di elmo, scudo e lancia.

L'esperienza ha dimostrato che, nell'insegnare l'informatica giuridica odierna, è utile ripercorrere a grandi tratti la storia del calcolo meccanico perché, negli anni Sessanta-Settanta, gli studenti di giurisprudenza venivano esclusivamente dal liceo classico. Quindi, per offrire loro alcuni punti di passaggio tra le conoscenze liceali e il nuovo mondo informatico che andavamo studiando, approfondii la storia del calcolo meccanico ed evocai alcuni personaggi a loro già noti, per esempio, attraverso la storia della filosofia. Così, nel 1971, presentavo l'invenzione della matematica binaria ad opera di Leibniz, che per di più la applicava ai trigrammi cinesi⁴³.

Il matematico Charles Babbage (1791-1871) progettò una macchina da calcolo con la quale – per la prima volta nella storia – «programmava» la sequenza delle operazioni da eseguire ricorrendo alle schede perforate allora già in uso nei telai Jacquard per tessere i motivi ornamentali nelle stoffe. All'Accademia delle Scienze di Torino scoprii varie lettere di Babbage e una sua descrizione della macchina da calcolo⁴⁴. Alcune di quelle schede perforate erano conservate all'Accademia torinese e – nel tempo che trascorsi all'Università di Yale negli Stati Uniti – potei farne dono alla Smithsonian Institution di Boston.

La macchina di Babbage eseguiva i calcoli, ma non li stampava: a questo fondamentale compito meccanico (che evita l'intervento del tipografo e, quindi, l'introduzione di errori umani nelle tabelle risultanti dal calcolo

⁴³ Losano, *Gli otto trigrammi (pa kua) e la numerazione binaria*, pp. 17-37, in: AA. VV., *Leibniz, Calcolo con uno e zero*, Etas Kompass, Milano 1971, 76 pp.

⁴⁴ Mario G. Losano (a cura di), *Babbage: la macchina analitica. Un secolo di calcolo automatico*, Etas Kompass, Milano 1973, IX-191 pp.; ristampa: Id., *La macchina da calcolo di Babbage a Torino*, Olschki, Firenze 2014, LXVI-170 pp., con una nuova prefazione: *La macchina analitica di Babbage: un fossile che viene dal futuro* (V-XLVIII pp.) e *Bibliografia degli scritti su Charles Babbage dal XX secolo in poi* (XLIX-LXVI pp.).

meccanico) provvide la stampante progettata da Georg Scheutz (1785-1873) e da Edvard Scheutz (1821-1881), padre e figlio. Il volume sui due svedesi «completa la documentazione del volume su Charles Babbage, [...] descrive gli sviluppi della macchina alle differenze sino agli inizi del XX secolo ed accenna ai legami tra queste macchine ed i primi elaboratori digitali»⁴⁵.

Infine, «apertosi con le macchine da calcolo di Charles Babbage, progettate fra il 1820 e il 1830, il secolo che vede nascere il calcolo automatico si chiude nel 1941 con la costruzione del primo calcolatore elettromeccanico del mondo, lo Z3 di Konrad Zuse. Nei cento anni in cui nasce e prende forma, il calcolo automatico è dunque un frutto della cultura europea»⁴⁶. Nato durante una guerra che si concluse con la sconfitta della Germania, l'invenzione di Konrad Zuse non ebbe la fortuna che arrise alle apparecchiature nordamericane. La piccola società di Zuse venne infine assorbita dalla società Siemens e la macchina di Zuse non conobbe un suo autonomo sviluppo ulteriore.

I tre libri su Babbage, Scheutz e Zuse sono accomunati dal medesimo sottotitolo, *Un secolo di calcolo automatico*: volevo così ricordare a miei studenti che i grandi «computers» che giungevano dagli Stati Uniti avevano delle lontane radici europee che sarebbe stato ingiusto passare sotto silenzio.

La serie dei libri sul calcolo meccanico si concluse nel 1976 con il ritorno a un passato meno prossimo, cioè al Settecento⁴⁷. L'illustrazione settecentesca scelta per la copertina simboleggia con chiarezza il contatto tra il passato e la modernità che caratterizza il Secolo dei Lumi: un imparruccato gentiluomo settecentesco, seduto davanti a una macchina da calcolo, con la sinistra tiene la levetta con cui impostare le rotelle per effettuare i calcoli affidati ai meccanismi della «pascalina», mentre nella destra tiene una penna d'oca, con cui annota su un foglio i risultati parziali dopo ogni operazione, poiché la stampante non era ancor stata inventata.

⁴⁵ Mario G. Losano (a cura di), *Scheutz: La macchina alle differenze. Un secolo di calcolo automatico*, Etas Libri, Milano 1974, 164 pp. La citazione è a p. 3. Questa è probabilmente «la prima monografia sulla macchina di Scheutz» (ivi, p. 3).

⁴⁶ Mario G. Losano (a cura di), *Zuse. L'elaboratore nasce in Europa. Un secolo di calcolo automatico*, Etas Libri, Milano 1975, XVIII-184 pp.; Losano, *Il centenario di Konrad Zuse (1910-1995): il computer nasce in Europa*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze Morali, Storiche e Filologiche», vol. 145 (2011), Torino 2012, pp. 61-82.

⁴⁷ Mario G. Losano (a cura di), *Machines arithmétiques. Invenzioni francesi del Settecento*. Testi originali con 15 tavole dell'epoca. La Bottega di Erasmo, Torino 1976, VIII-121 pp. («Edizione promossa dalla Siemens Data s.p.a.»).

4. Il sistema Italggiure e la Corte di cassazione italiana

Negli anni Sessanta la Corte di cassazione italiana iniziò un programma di informatica giuridica a partire dalle massime (cioè dai riassunti) delle proprie sentenze ed estendendosi in seguito a tutte le branche giuridiche, centrali e regionali. Negli anni Settanta la sua rete – originariamente telefonica, l'unica tecnologia disponibile al momento – raggiungeva i tribunali in tutta l'Italia ed era una delle più vaste d'Europa (oggi Italggiure Web). Presso il centro di calcolo della Corte di cassazione la società Univac sviluppò il programma per il reperimento delle informazioni «Find», che ebbe poi una sua diffusione sul mercato informatico accanto ai programmi simili delle società IBM («Stairs») o Siemens («Golem»). La prima dimostrazione pubblica ebbe luogo il 21 marzo 1969, mentre i primi collegamenti in rete con vari uffici giudiziari ebbero luogo nel 1973.

Col passare del tempo il contenuto di questa banca di dati si è esteso dalla giurisprudenza alla legislazione e alla dottrina, includendo anche documenti rilevanti per l'attività giuridica, come le circolari ministeriali e i contratti collettivi. L'evoluzione e il costante arricchimento di questa base documentaria memorizzata renderebbe subito obsoleto ogni tentativo di descrizione: la situazione attuale, i modi di accesso e ogni altra informazione si trovano nel sito del sistema stesso (<https://www.italgiure.giustizia.it/>). Una descrizione generale, utile per una prima approssimazione, è fornita dal sito curato da Giacomo Oberto⁴⁸.

Per affrontare le origini e i primi sviluppi di questo importante centro di informatica giuridica basti qui richiamare le descrizioni che alcuni magistrati sono andati pubblicando sin dai primi inizi dell'attività del sistema «Italggiure». Un completo quadro storico del sistema della Corte di Cassazione può contare tanto su una sintetica descrizione del 1969⁴⁹ quanto su una vasta pubblicazione del 1972 in cinque volumi, entrambe dovute a un magistrato molto attivo in questo campo, Errico Laporta⁵⁰.

A questo punto, per brevità, è opportuno limitarsi a una bibliografia dei

⁴⁸ Si vedano gli *Appunti per un corso di informatica giuridica* di Giacomo Oberto (<https://www.giacomooberto.com/appuntiinformatica2007/cedcassazione.htm#par1>). Giacomo Oberto è un magistrato con incarichi universitari. Alcune sue pubblicazioni sono accessibili on line: <https://www.giacomooberto.com>

⁴⁹ Errico Laporta [et al.], *Sistema di ricerca elettronica della giurisprudenza. Descrizione ed esperimenti*. Con appendice di L[uigi] Bosio, Stamperia nazionale, Roma 1969, XIII-198 pp.

⁵⁰ Errico Laporta, *Sistema Italggiure di ricerca elettronica della giurisprudenza*. Gruppo di ricerca dell'Ufficio del massimario della Corte suprema di cassazione; direttore della ricerca Errico Laporta, Stamperia nazionale di Roma, Roma 1972, 5 voll. (alcuni dei quali in più tomi).

principali scritti che accompagnarono i primi sviluppi del centro della Corte di Cassazione, elencando in ordine alfabetico i volumi di tre magistrati allora protagonisti di quelle attività, insieme con il già citato Errico Laporta:

– Renato Borruso, *Ricerche automatiche di documentazione giuridica effettuate sui terminali del Centro elettronico della Corte di Cassazione*, [Consiglio dell'Ordine degli avvocati e procuratori di Genova], Genova 1976, 51 ff. (ciclostilato).

– Id., *Digitantibus succurrunt iura: come apprendere rapidamente, attraverso un dialogo immaginario, il sistema Italgire-find per la ricerca automatica della documentazione giuridica (giurisprudenza, legislazione, dottrina) nella banca-dati del Centro Elettronico della Corte Suprema di Cassazione*, Editrice Kronos, s.l. 1989, XI-225 pp. (in copertina: Guida dialogata all'uso del sistema Italgire-find).

– Id. – Leonello Mattioli, *Computer e documentazione giuridica: teoria e pratica della ricerca. Guida alla consultazione delle banche dati istituzionali: Corte suprema di cassazione, Senato della Repubblica, Camera dei deputati*, Istituto poligrafico dello Stato, Giuffrè, Milano 1999, XXX-801 pp.

– Id. [et al.], *L'informatica del diritto*, Giuffrè, Milano 2007, XX-383 pp. (2a ed. riv. e aggiornata).

– Giuseppe Di Federico, *L'uso di strumenti elettronici nell'amministrazione della giustizia*, «Rivista trimestrale di diritto e procedura civile», 1966, pp. 3-15.

– Id. – Renato Borruso, *L'utilizzazione di strumenti meccanografici ed elettronici presso la Corte di Cassazione*, estratto da: Giuseppe Di Federico, *La Corte di Cassazione: la giustizia come organizzazione*, Laterza, Bari 1969, pp. 257-286.

– Id., *La Corte di Cassazione: la giustizia come organizzazione*. Prefazione di Gino Martinoli; contributi di Giorgio Freddi e Renato Borruso; ricerca affidata al gruppo di studio di sociologia dell'organizzazione del Centro nazionale di prevenzione e difesa sociale [Milano], Laterza, Bari 1969, 291 pp.

– Mattioli, Leonello, *L'informatica per il giurista. Guida alle banche dati giuridiche*, Università degli studi, Perugia 1993, V-145 pp.

– Id., *Senato della Repubblica, Camera dei Deputati, Istituto poligrafico dello Stato: guida per la ricerca nelle banche dati istituzionali gestite con il sistema STAIRS*, [s. n.], Perugia 1999, 171 pp.

– Id. [et al.], *Computer e diritto. L'informatica giuridica nella società dell'informazione e della conoscenza*, Giuffrè, Milano 2012, XXI-459 pp.

5. L'esperimento sulla legislazione della Regione Lombardia (1973)

L'impulso a realizzare uno specifico esperimento di informatica giuridica venne dal completamento della struttura istituzionale italiana e, quindi, dall'effettiva attività delle regioni a statuto ordinario. Le regioni come enti territoriali erano previste già nella costituzione del 1948: «La Repubblica si riparte in Regioni, Provincie e Comuni» (art. 114) e «Le Regioni sono costituite in enti autonomi con propri poteri e funzioni secondo i principî fissati nella Costituzione» (art. 115). Però la loro effettiva realizzazione ebbe luogo soltanto con la legge del 16 maggio 1970, n. 281, e con il suo regolamento di attuazione, il D.P.R. 15 gennaio 1972, n. 8.

Mentre le regioni iniziavano la loro attività legislativa, nel 1973 io mi trovavo negli Stati Uniti, alla Yale Law School, ma frequentavo anche il Quartier generale dell'IBM a White Plains, USA. Li incontrai Steve Furth, che curava la diffusione del programma STAIRS (Storage and Information Retrieval System), lanciato nel 1973. La concomitanza tra il lancio di questo programma e l'inizio della legislazione regionale italiana mi suggerì l'idea di creare una banca di dati legislativi regionali, perché avremmo potuto realizzarla senza dover recuperare il materiale legislativo pregresso: va infatti ricordato che, nel caso della legislazione dello Stato italiano nato nel 1861, erano ancora in vigore norme anteriori all'unità d'Italia. Nel caso della Lombardia, invece, il materiale dell'esperimento avrebbe coinciso con l'universo della legislazione al suo nascere. A questa fortunata coincidenza oggettiva se ne aggiungeva una soggettiva altrettanto fortunata: il presidente del Consiglio regionale della Lombardia, cioè dell'organo legislativo, era Carlo Smuraglia (1923-2022), ordinario di diritto del lavoro e mio collega nella Facoltà di scienze politiche a Milano.

Nella primavera del 1973 il Consiglio regionale della Lombardia approvò la creazione sperimentale di una banca di dati delle leggi lombarde, gestita con il programma Stairs. L'esperimento ebbe successo e, data la sua novità, venne documentato con una dettagliata relazione in quattro volumi⁵¹.

Il passaggio dal testo di legge stampato sul bollettino ufficiale alle schede perforate e, di lì, all'elaboratore, venne affidato a «un gruppo di studenti dell'Università Statale di Milano, in cui Ermanno Bonazzi ha svolto un

⁵¹ La descrizione completa dell'esperimento consta di quattro volumi ciclostilati: *Relazione sull'esperimento di information retrieval applicato alla legislazione regionale*, Consiglio regionale lombardo, Milano 1974, 2 volumi, 223 pp. [Losano, *Parte prima*, 98 pp.; *Parte seconda* (con Ermanno Bonazzi), pp. 99-223]; seguito da *Rapporto sul sistema di information retrieval giuridico del Consiglio regionale lombardo*, 2 volumi, 268 pp. [Losano e Bonazzi, *Parte terza*, 79 pp.; *Parte Quarta*, pp. 81-268].

importante ruolo di coordinatore e Tota Salvatoni una parte del lavoro preparatorio del materiale legislativo»⁵². Alcuni studenti «millesimés» del 1971 potevano così passare dalla teoria delle lezioni alla pratica dell'informatica giuridica. Ad essi si unirono due eccellenti funzionarie regionali, mentre in Brasile – grazie all'amicizia del senatore Franco Montoro e del professore Miguel Reale – io potevo conoscere le attività informatiche in corso dal 1972 al Senato di Brasilia nel «Prodasen» (Processamento de Dados do Senado)⁵³. Infatti trascorsi i mesi di luglio e agosto del 1973 a São Paulo, realizzando il primo corso universitario di informatica giuridica in Brasile⁵⁴.

A Milano, nonostante gli inevitabili intoppi burocratici, nel marzo 1974 erano pronte per l'elaborazione circa 60.000 schede perforate. «La presentazione ufficiale dell'esperimento ha avuto luogo il 27 giugno 1974». Il programma Stairs venne applicato con successo a 6791 documenti, pari a 110.540 schede perforate»⁵⁵. L'esperimento avrebbe poi dovuto essere esteso ad altre regioni, ma finì assorbito nel più generale progetto della Corte di cassazione, che però usava un programma incompatibile con quello lombardo.

6. L'avvento dei CD-ROM, memorie di sola lettura

I primi CD-ROM (Compact Disk – Read-Only Memory) cominciarono a diffondersi negli anni Ottanta e in pochi anni divennero il supporto multimediale di sola lettura più diffuso in campo musicale ed editoriale. Come dal 1985 i CD-ROM avevano sostituito i «floppy disks», nati nel 1967, così dal 1991 i CD-ROM vennero in parte sostituiti dalla rete (World Wide Web), che rende sempre disponibili (e spesso gratuitamente) i contenuti originariamente memorizzati sui dischi compatti. Questa caducità sembra una caratteristica del mondo informatico, dovuta alla rapidità con cui in esso si succedono e si affermano le innovazioni tecnologiche: «Nel 1985, pubblicando il primo volume del mio corso di informatica giuridica, non avevo parlato dei supporti

⁵² Losano, *Parte prima*, in *Relazione sull'esperimento di information retrieval*, cit., p. 3 n.n.

⁵³ Prodase – Centro de Informática e Processamento de Dados do Senado Federal: 30 anos, 1972/2002 (<http://www2.senado.leg.br/bdsf/handle/id/511123>).

⁵⁴ Losano, *Lições de informática jurídica*. Curso de extensão universitária no Departamento de direito economico-financeiro da Faculdade de Direito da Universidade de São Paulo, Tribunal de Alçada Criminal, São Paulo 1973, IV-210 pp.; Id., *Lições de informática jurídica*, Reprodução eletrofotostática das apostilas, Editora Resenha Tributaria, São Paulo 1974, XVI-237 pp.; traduzione italiana: Id., *Lezioni pauliste di informatica giuridica*, Tirrenia, Torino 1974, VII-205 pp.

⁵⁵ Losano, *Parte prima*, in *Relazione sull'esperimento di information retrieval*, cit., p. 98; una sintesi dello svolgimento dell'esperimento è nel capitolo *La storia dell'esperimento*, pp. 95-98.

ottici perché essi mi sembravano una tecnologia ancora lontana dall'aver un peso nella vita del giurista. Però il 16 ottobre 1986 presentavo a Roma l'Enciclopedia Einaudi su disco compatto e il 2 luglio 1987 alla Corte d'Appello di Milano il disco compatto giurisprudenziale "Jusvideo"»⁵⁶. Confrontando le lettere ottocentesche e cartacee di Rudolf von Jhering (che avevo pubblicato nel 1984) con i miei evanescenti e-mail, constatavo rassegnato: *Scripta volant*⁵⁷.

a) Dal sapere stampato alla videoenciclopedia Einaudi

La casa editrice Einaudi, presso la quale avevano visto la luce i miei libri di informatica giuridica, pubblicò tra il 1977 e il 1984 un'Enciclopedia Einaudi in 16 volumi. Poiché in quegli anni cominciavo ad occuparmi dei CD-ROM per una piccola impresa di Roma, la società Kronos Europea, trasferii l'intera enciclopedia su un CD-ROM, che presentai a Roma il 16 ottobre 1986⁵⁸. Anche qui si manifesta la caducità dell'informatica: venne predisposto un «Manuale d'uso della video banca dati Einaudi», che spiega i «comandi che è opportuno fornire alla macchina per ottenere i risultati desiderati»: manuale registrato su un «floppy disk», oggi però inutilizzabile perché le odierne attrezzature non hanno neppure più l'unità di lettura in cui poterlo introdurre. Io ne conservo un esemplare da mostrare agli studenti come documento di archeologia informatica.

Subito dopo la realizzazione della videoenciclopedia il mio interesse per il diritto mi portò a realizzare il primo CD-ROM giuridico in Italia, passando così dalla banca di dati giuridici in linea (come nel sistema Italgire della Corte di Cassazione o come nell'esperimento sulla legislazione della Regione Lombardia) a una banca di dati fuori linea. Da un lato ritornavo così alle tecniche redazionali dei tempi del mio apprendistato editoriale nella tradizionale editoria cartacea: infatti il contenuto del CD-ROM deve essere accurato come un prodotto a stampa tanto nella forma quanto nel contenuto e, quindi;

⁵⁶ Losano, *Scritto con la luce. Il disco compatto e la nuova editoria elettronica*, Unicopli, Milano 1988, p. 8.

⁵⁷ Losano, *Scripta volant: la volatilizzazione dei documenti nell'era digitale*, in «Il diritto dell'informazione e dell'informatica», XXV, 2020, n. 1, pp. 17-42. Il carteggio di Jhering è in: *Der Briefwechsel zwischen Jhering und Gerber*, Gremer, Ebelsbach 1984, Teil 1, XXII-693 pp.; Teil 2, XXIII-432 pp.; *Der Briefwechsel Jherings mit Unger und Glaser*, Aktiv Verlag, Ebelsbach 1996, XIII-337 pp.

⁵⁸ Losano, *Dal sapere stampato alla videoenciclopedia*, in «Media Duemila», IV, 1986, n. 37, pp. 66-71; Id., *E adesso, la videoenciclopedia*, in «L'editore», IX, dicembre 1986, n. 11, pp. 66-69.

esige una buona organizzazione redazionale. Dall'altro lato dovevo occuparmi del programma per il reperimento dei dati inclusi nel CD-ROM. Questa banca di dati fuori linea non entrava in competizione con quella della Corte di Cassazione non solo per la sua natura tecnica, ma anche per il suo contenuto giuridico. Basti qui citare un passo esteso da una pubblicazione, cui è opportuno rifarsi per ogni approfondimento:

[Nel sistema della Corte di Cassazione] il materiale giuridico è suddiviso in archivi; uno di essi – denominato «Merito» – raccoglie le sentenze dei tribunali di prima e seconda istanza. Poiché la quantità di queste sentenze è immensa e poiché sovente esse non vengono pubblicate, questo archivio non ha potuto essere organizzato in modo soddisfacente. Infatti, i giudici di merito che ritengono di aver redatto una sentenza rilevante ne trasmettono il riassunto alla Corte di Cassazione, che provvede a memorizzarlo. L'arbitrarietà della scelta delle sentenze è evidente; d'altra parte, le difficoltà concrete per attuare una memorizzazione diversa sono enormi. – Per costruire un archivio più organico delle sentenze di merito e per impostare un nuovo servizio sono state coordinate le attività della Corte di Cassazione, della mia cattedra presso l'Università Statale di Milano e della società Kronos di Roma. Un gruppo di giuristi provvede a riassumere le sentenze, selezionate ora dalla sola Corte d'Appello di Milano. I testi riassunti vengono memorizzati su un disco compatto, distribuito con il nome di «Jusvideo», e trasmessi alla Corte di Cassazione per l'inclusione nel sistema in linea «Italgire». In futuro questa attività dovrebbe estendersi anche ad altri tribunali di merito⁵⁹.

Il riassunto della sentenza serve all'utente per individuare il testo che gli interessa. La grande capacità di memoria del CD-ROM permette di memorizzare anche l'immagine del testo integrale della sentenza, fornendo così all'utente il documento completo. In questa fase è tornata utile l'esperienza accumulata con la memorizzazione delle circa 2000 immagini dell'Enciclopedia Einaudi. In generale la grande capacità e flessibilità del disco ottico permette di raggiungere risultati impossibili con la tradizionale tecnica tipografica. Per

⁵⁹ Losano, *Il sistema «Jusvideo»: la giurisprudenza italiana su disco compatto*, in *Diritto e CD-ROM. Esperienze italiane e tedesche a confronto*, A cura di Mario G. Losano e Lothar Philipps, Giuffrè, Milano 1990, VIII-117 pp.; la citazione è a p. 22. Più in generale, Losano, *Scritto con la luce. Il disco compatto e la nuova editoria elettronica*, Unicopli, Milano 1988, 128 pp.

questo, nel mio libro sui CD-ROM, avevo dedicato un capitolo a *Come fare i libri impossibili*. Per esempio, «nel 1984 la proposta di un'edizione elettronica delle opere del massimo giurista del nostro secolo, l'austriaco Hans Kelsen, era stata oggetto di una mia conferenza presso l'istituto viennese intitolato a questo autore»⁶⁰. Avanzavo un'analoga proposta per l'edizione (elettronica) dei manoscritti di un grande giurista dell'Ottocento, Karl Friedrich von Savigny: ai vantaggi informatici si aggiungeva qui la protezione del manoscritto dall'inevitabile usura da parte degli utenti che lo consultano. Oppure «le grandi riviste di mondi lontani» (esaurite spesso da decenni) possono essere rese accessibili a nuove università o a paesi emergenti.

b) Il CD-ROM, l'Accademia della Crusca e un Norberto Bobbio inedito

L'occasione per tentare un ulteriore esperimento con il CD-ROM si presentò nel 1994, quando – a Firenze, dall'ottobre 1992 al settembre 1994 – dirigevo l'Istituto per la Documentazione Giuridica del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Anche se questa impresa non ebbe seguito, merita di essere ricordata perché documenta come Norberto Bobbio non avesse mai fatto mancare il suo appoggio alle mie proposte di innovazione tecnologica (a partire dalla sua approvazione nel 1969, presso la casa editrice Einaudi, del mio *Giuscibernetica* e, presso la Facoltà di Giurisprudenza di Torino, del Centro di Giuscibernetica). Nel 1994 gli scrivevo infatti:

Vorrei trasferire su CD-ROM il *Vocabolario Giuridico Italiano*, la cui commissione si riunì 9 volte tra il giugno 1966 e il luglio 1968 (con Orestano, Giannini, Giorgianni, Nencioni e te). Tu partecipasti a 3 sedute.

La commissione indicò un vasto numero di testi da spogliare. Questo elenco venne riveduto (cioè sfrondata per certi versi e ampliato per altri) da Fiorelli, che stese la lista finale. Lo spoglio di questa lista finale di libri è completo: tutti i volumi indicati da Fiorelli sono stati spogliati.

Disponiamo così di un corpus di circa 900.000 schede cartacee, costantemente in uso per ricerche e quindi in costante deperimento. Esse incorporano un secolo/uomo di lavoro e, senza il trasferimento su CD-ROM, rischiano di andare perdute. Il CD-ROM non solo le salverebbe, ma permetterebbe di moltiplicarle e di metterle a

⁶⁰ Losano, *Scritto con la luce*, cit., p. 93.

disposizione di tutte le biblioteche, ormai quasi tutte dotate di lettori adatti a questi supporti ottici⁶¹.

La risposta di Bobbio fu rapida e positiva:

Come sai, io ho fatto parte della redazione del *Vocabolario giuridico italiano*, che si costituì nel 1966. Accettai allora di farne parte, perché sono stato sin dall'inizio convinto dell'enorme importanza che ha la storia delle parole per la ricostruzione di un universo concettuale, e in particolare per la comprensione del sistema concettuale giuridico, cioè di una forma di conoscenza, come il diritto, il cui metodo è l'interpretazione, cioè l'analisi di costrutti linguistici.

Mi sono spesso domandato quale fosse l'esito della ricerca allora iniziata, proseguita per parecchi anni. Sono lieto di apprendere da te che è stato creato un corpus di 900.000 schede cartacee, un prodotto di eccezionale interesse per tutti i cultori di discipline giuridiche. Me ne rallegro.

Sono quindi ben lieto di sapere da te che hai intenzione di salvare queste schede deperibili su CD-ROM. Ritengo che la tua proposta meriti di essere presa nella più seria considerazione. Se tu riuscirai nel tuo intento, come mi auguro, avrai, oltre il mio elogio, che conta quel che conta, la riconoscenza dei giuristi, e non solo di quelli italiani⁶².

L'esperimento non ebbe però luogo, anche perché l'avvento della rete stava spostando l'interesse dalle banche di dati fuori linea (e statiche, cioè di sola lettura, come il CD-ROM) verso le banche di dati in linea.

7. La laurea triennale in informatica giuridica

L'insegnamento universitario dell'informatica giuridica, ai suoi inizi, era legato all'interesse personale di un isolato docente e, quindi, veniva offerto agli studenti nell'ambito della materia propria di quel docente stesso. Abbiamo già ricordato come questo sia avvenuto spesso in un insegnamento

⁶¹ Losano a Bobbio (intestazione: IDG – Istituto per la Documentazione Giuridica del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Il Direttore), Firenze, 24.2.94, 1 facciata datt.; inedito conservato al Centro Studi Piero Gobetti, Archivio Norberto Bobbio, 2753: Mario G. Losano, 1961-2002.

⁶² Bobbio a Losano, s.l., data ms: 3.3.94 (inedita; per la collocazione, cfr. nota precedente); «qui è il dettaglio delle opere spogliate»: allegato l'articolo di Piero Fiorelli, *L'Accademia della Crusca per il Vocabolario Giuridico Italiano*, in «Studi di lessicografia italiana», 1979, p. 77, nota 3.

di filosofia del diritto, non però nell'ambito di un'organizzazione generale dell'università italiana.

L'introduzione ufficiale dell'insegnamento dell'informatica giuridica venne affrontata con una certa macchinosità: il raggruppamento per aree tematiche di insegnamento esisteva già dal 1973, ma gli attuali «Settori scientifico-disciplinari» – che regolano i singoli insegnamenti universitari – vennero istituiti dal decreto ministeriale 30 ottobre 2015, n. 855 (che si richiama all'art. 15 della legge 30 dicembre 2010, n. 240, «recante norme in materia di organizzazione delle Università, di personale accademico e reclutamento») e sono in vigore dal 20 novembre 2015. La nuova struttura universitaria prevede 21 aree disciplinari. Nell'area disciplinare 12, «Scienze giuridiche», sono presenti 21 «Settori scientifico disciplinari», uno dei quali – denominato «Ius 20 – Filosofia del diritto» comprende anche l'insegnamento dell'«Informatica giuridica». Con questo la materia ha raggiunto il suo riconoscimento ufficiale e il suo insegnamento non deve più essere proposto sotto mentite spoglie.

Al termine di questo tortuoso iter burocratico, era però evidente che l'insegnamento annuale dell'informatica giuridica – 60 ore annue nel contesto delle altre materie curriculari – serviva al massimo ad enunciare i principali problemi giuridici sollevati dalla diffusione dell'informatica nella società attuale. Per questo proposi all'allora rettore dell'Università del Piemonte Orientale, Paolo Garbarino, la creazione ex novo di un corso laurea triennale ufficialmente denominato *Corso di informatica giuridica*, in cui – durante tre anni – venissero insegnate materie giuridiche e materie informatiche.

Grazie alla lungimiranza del rettore e alla sua capacità di appianare le difficoltà burocratiche inevitabilmente connesse con la creazione di un nuovo corso universitario (per di più dalla denominazione per lo meno inconsueta), la proposta venne approvata perché corrispondeva, da un lato, a una reale esigenza didattica nel quadro generale dell'università italiana e, dall'altro, perché si rivelava particolarmente adatta per un'università di recente istituzione come quella del Piemonte Orientale, fondata nel 1998. Infatti la sede della Facoltà di Giurisprudenza si trova ad Alessandria, città nella quale è presente anche la Facoltà di Facoltà di Matematica, Fisica e Scienze, con tutti gli insegnamenti tecnici di informatica. Fu così possibile organizzare un corso triennale di informatica giuridica in cui, nella stessa città, gli studenti del nuovo corso trovavano giuristi che insegnavano materie giuridiche e informatici che insegnavano materie informatiche. Il piano di studi venne elaborato da docenti di entrambe le facoltà ed è stato descritto in dettaglio in varie pubblicazioni⁶³.

⁶³ Sull'organizzazione e sulla struttura del corso triennale: Losano, *Un corso universitario triennale di informatica giuridica*, in «Il diritto dell'informazione e dell'informatica», 2003, n. 6,

Il corso triennale di informatica giuridica era l'unico in Italia, e questo corrispondeva ad un'esigenza tanto dell'*università* stessa, quanto dell'*economia* del territorio in essa è collocata. Geograficamente, infatti, Alessandria è al centro di un irregolare quadrilatero ai cui vertici si trovano Torino, Milano, Genova e Pavia: quattro sedi di università prestigiose. Di conseguenza, per affermarsi l'Università del Piemonte Orientale doveva offrire agli studenti qualcosa che essi non trovassero in altre università non lontane. Infatti, perché uno studente fuori sede avrebbe dovuto scegliere Alessandria in luogo di una delle altre quattro sedi universitarie, ben più note? Poteva attirarlo ad Alessandria soltanto un'offerta didattica diversa da quella delle altre quattro sedi ora menzionate. Inoltre il contesto *economico* del Piemonte orientale – area di confine tra il Piemonte e la Lombardia – è caratterizzato da un fitto tessuto di piccole e medie imprese. La figura di un laureato esperto tanto in campo giuridico-amministrativo quanto nelle nuove tecnologie corrispondeva quindi anche a una precisa esigenza di queste piccole-medie industrie: argomento rilevante in tempi di diffusa disoccupazione giovanile.

La creazione di questo corso triennale di informatica giuridica coronava così, per me, la visione che nel 1969 aveva ispirato il mio volumetto *Giuscibernetica*. Dal 2002 al 2009 insegnai dunque con entusiasmo Filosofia del diritto e Informatica giuridica nell'Università del Piemonte orientale, dapprima nella Facoltà di Matematica, Fisica e Scienze, poi nella Facoltà di Giurisprudenza, finché 2009 andai in pensione.

Appena andato in pensione, colleghi soppressero il corso triennale di informatica giuridica, decisione che mi spiego solo con l'ottusità di chi votò questa disposizione. Massimo Cavino, collega e amico giuspubblicista ad Alessandria, nonché curatore (con il rettore Paolo Garbarino) della raccolta dei miei saggi di informatica giuridica, riassume così la parabola alessandrina: «L'esperienza, nel complesso positiva, è però durata soltanto sette anni. In parte per esigenze amministrative determinate dai tagli ministeriali delle risorse, ma soprattutto a causa della scarsa capacità di visione dei colleghi della

pp. 1047-1061; Id., *Ancora sul corso universitario triennale di informatica giuridica*, in «Il diritto dell'informazione e dell'informatica», XXVI, gennaio – febbraio 2010, pp. 81-90; Id., *Il corso triennale di informatica giuridica dell'Università del Piemonte Orientale*, in: Ginevra Peruginelli e Mario Ragona (eds.), *L'informatica giuridica in Italia. Cinquant'anni di studi, ricerche, esperienze*, ESI, Napoli 2014, pp. 119-148. Questi scritti sono anche in: Losano, *Scritti di informatica e diritto. Per una storia dell'informatica giuridica*, a cura di Paolo Garbarino e Massimo Cavino, Mimesis, Milano 2022, vol. 2: *Un corso universitario triennale di informatica giuridica* (2003), pp. 653-671; *Ancora sul corso universitario triennale di informatica giuridica* (2010), ivi, pp. 671-683; *Il corso triennale di informatica giuridica dell'Università del Piemonte Orientale* (2014), ivi, pp. 685-691.

Facoltà di Giurisprudenza (e di chi ne era Preside) il corso di laurea triennale è stato oggetto di un profondo ripensamento, non condiviso da Losano (che anzi è stato tenuto deliberatamente all'oscuro di tutte le iniziative di riforma del piano di studi fino al momento di sottoporlo al voto del Consiglio di Facoltà)); Massimo Cavino continua ricordando la mia lettera di dimissioni da Presidente di quel Corso di Laurea che avevo fondato e la mia previsione dell'«abolizione del corso stesso»: «La previsione – conclude Cavino, – è stata confermata dalla chiusura del corso di laurea nel 2013»⁶⁴.

Il modello del corso alessandrino è stato però ripreso da una mia allieva, ora docente all'università Externado de Colombia, a Bogotá, mentre un altro mio allievo, anch'esso ora docente alla Universidad de la República di Montevideo, sta traducendo i due volumi dei miei scritti sull'informatica giuridica. Forse per i miei progetti si aprono nuovi orizzonti nel Mondo Nuovo.

⁶⁴ Massimo Cavino, *L'informatica nello studio dei sistemi giuridici. Lo sguardo di Mario Losano*, in Losano, *Scritti di informatica e diritto. Per una storia dell'informatica giuridica*, a cura di Paolo Garbarino e Massimo Cavino, Mimesis, Milano 2022, vol. 2, p. XXXII.

L'Accademia delle Scienze di Torino e i primi passi del Regio Museo Egiziano

ELVIRA D'AMICONE*

Memoria presentata dal Socio nazionale Alessandro Roccati
nell'adunanza del 6 giugno 2023, ricevuta il 23 ottobre 2023
e approvata nell'adunanza del 14 novembre 2023

Abstract. *The essay aims to illustrate documentation, in some cases unpublished, on the contribution made by the Academy of Sciences to the history of Turin's Egyptian collection at the time of the royal Egyptian museum. The first document is the Description of the Royal Egyptian Museum, held at the Academy and published in the General Calendar pe' Regi Stati of 1826 at the behest of the King. The text enumerates the beauties and importance of the collection of antiquities received in Turin, which is referred to as the Egyptian Encyclopedia, and what is reported merits specific evaluations, which beyond historical relativism, proves to be of considerable scientific relevance.*

The subsequent documents pertain to the next phase of reorganization of the collection with the consequent restoration of the original Drovettian numbering, affixed to the objects and lost in most cases. Not an easy activity as specified by Fabretti himself, proposer of the intervention. The fundamental role of the Academy is attested by the labels affixed to the objects, which can be traced back to the academic endowments.

KEYWORDS: Champollion, Turin, Academy of Sciences, Royal Egyptian Museum, Drovetti's Collection.

Riassunto. *La comunicazione intende illustrare documentazione in alcuni casi inedita sull'apporto fornito dall'Accademia delle Scienze alla storia della collezione egizia torinese al tempo del Regio Museo Egizio. Il primo documento è la Descrizione del regio museo egizio, tenuta all'Accademia e pubblicata nel «Calendario generale pe' Regi Stati» del 1826 per volere del Re. Il testo enumera le bellezze e l'importanza della collezione di antichità pervenuta a Torino, che viene definita Enciclopedia*

* Già direzione dell'ex Soprintendenza al Museo delle Antichità Egizie di Torino; universomediterraneo@virgilio.it

egiziana e quanto riportato merita specifiche valutazioni, poiché al di là dei relativismi storici, si rivela di notevole attualità scientifica. I successivi documenti afferiscono alla fase successiva di riordino della collezione con il conseguente ripristino dell'originaria numerazione drovettiana, apposta sugli oggetti e andata perduta nella maggior parte dei casi. Attività non facile come specificato dallo stesso Fabretti, propositore dell'intervento. Il ruolo fondamentale dell'Accademia è attestato dalle etichette apposte sugli oggetti, riconducibili alle dotazioni accademiche.

PAROLE CHIAVE: Champollion, Torino, Accademia delle Scienze, Regio Museo Egizio, Collezione Drovetti

Premessa

La presente Memoria comprende due parti, entrambe collegate alle origini del Regio Museo Egiziano o Egizio, come leggiamo in entrambe le dizioni sui documenti dell'epoca.

La prima parte ricorda il decifratore dei geroglifici, Jean-François Champollion, che dallo studio della collezione Drovetti nei primi passi del nuovo status di Regio Museo Egizio impostò peculiari direttive di ricerca e dedusse i principi informatori della ricostruzione della civiltà egizia e della classificazione delle sue antichità. Il Decifratore avrebbe voluto redigere anche il catalogo, che purtroppo non gli riuscì di realizzare¹. Tuttavia ne restituiscono memoria i *Papiers Champollion* della *Bibliothèque nationale de France* (BnF)², che riteniamo conservino gli appunti di uno dei capitoli e le schede di una serie di oggetti, che avrebbero dovuto far parte della pubblicazione o di pubblicazioni successive, cui il Regio Museo Egizio avrebbe dato apporti se non fondamentali, sicuramente importanti. Impostazione e contenuti sono rilevabili dalla *Descrizione del Regio Museo Egizio*, pubblicata nel *Calendario pe' Regii Stati*³. Proficue applicazioni ne furono l'organizzazione

¹ Sulla vicenda del catalogo G. Gervasoni, *Champollion in Italia e la prima nostra egittologia*, Hoepli, Milano 1951.

² *Papiers Champollion* BnF 20323-20390, di seguito citati *Papiers*, <https://gallica.bnf.fr> e G. Andreu-Lanoë, V. Desclaux, H. Virenque (sous la direction de), *L'Aventure de Champollion. Dans le secret des hiéroglyphes*, Bibliothèque nationale de France, Paris 2022, Catalogue de l'exposition, Bibliothèque nationale de France, Paris 12 avril-24 juillet 2022; BnF 20347 in J.R. Pérez-Accino, E. Ruiz García (dirección editorial), *Papeles de Champollion: Estudio al "Cuaderno de notas" de J.F. Champollion*, Bibliogemma, Barcelona 2010.

³ *Descrizione del Regio Museo Egizio*, in *Calendario generale pe' Regii Stati pubblicato con autorità del Governo e con privilegio di S.S.R.M.*, 1825, pp. 462-470 e *Calendario generale*, cit., 1826, pp. 519-526, di seguito citata *Descrizione*, <http://digitale.bnc.roma.sbn.it/tecadigitale>.

della sezione egizia del Louvre, a lui affidata come direzione e redazione del catalogo e la pubblicazione della documentazione raccolta dalla spedizione congiunta franco-toscana nella Valle del Nilo, organizzata insieme all'amico orientalista pisano, Ippolito Rosellini. Descrizioni dettagliate degli oggetti come delle attività e degli eventi del soggiorno torinese sono nelle *Lettres* redatte per l'amico mecenate duca di Blacas⁴ e nella corrispondenza magistralmente raccolta dalla sua biografa Hermine Hartleben⁵.

Nelle elaborazioni teoriche di Champollion durante il soggiorno torinese trovano ragione anche talune scelte del primo catalogo scientifico del Museo a conferma della vitalità dell'influenza generata dalla sua presenza e dai suoi studi a più di mezzo secolo di distanza. La *Notice descriptive* della sezione egizia del Louvre, che attesta impostazioni originate dall'esperienza sabauda, inizia con «Salle des Dieux»⁶, così come il catalogo del *Regio Museo di Torino. Antichità Egizie* a cura di Ariodante Fabretti, Francesco Rossi e Rodolfo Vittorio Lanzone del 1882 e 1888⁷ ha *in primis* «Divinità»⁸, e come non ricordare che anche nel catalogo della collezione Nizzoli, richiesto dal Granduca di Toscana Leopoldo II al Decifratore, la prima sezione è quella delle «Statues de Divinités»⁹? Ancora più importante fu l'eredità lasciata dall'impegno di catalogazione sulle divinità dell'antico Egitto, il *Panthéon égyptien*¹⁰, opera iniziata prima della permanenza torinese, ma che di questa si avvalorò notevolmente. Nel 1881 il Lanzone, curatore insieme al Fabretti e al Rossi del catalogo della collezione egizia torinese, pubblica il primo dei cinque volumi del *Dizionario di Mitologia egizia*, che illustra il patrimonio

⁴ J.-Fr. Champollion, *Lettres à M. le duc de Blacas d'Aulps relatives au Musée royal égyptien de Turin. Première lettre – Monuments historiques. Seconde Lettre. Suite de Monuments Historiques*, Firmin Didot père & fils, Paris 1824 e 1826, di seguito citate *Lettres. Première e Lettres. Seconde*, <https://gallica.bnf.fr>.

⁵ H. Hartleben, *Lettres de Champollion le jeune. 1. Lettres écrites d'Italie. 2. Lettres et journaux, écrits pendant le voyage d'Égypte*, Ernest Leroux éditeur, Paris 1909, in <https://gallica.bnf.fr>, di seguito citate *Lettres d'Italie e Lettres d'Égypte*.

⁶ J.-Fr. Champollion, *Notice descriptive des Monuments égyptiens du Musée Charles X*, Imprimerie de Crapelet, Paris 1827, p. 1.

⁷ A. Fabretti, F. Rossi e R.V. Lanzone, *Regio Museo di Torino. Antichità Egizie*, 1-2, Stamperia Reale della Ditta G.B. Paravia e C., Torino 1882 e 1888, di seguito citato come *FRL*.

⁸ *FRL* I, p. VII.

⁹ *Illustrazione dei monumenti egiziani della nostra collezione di mano del sig. Champollion ed illustrazione della mummia e sue casse di mano del sig. Migliarini, 1824* in Archivio Centrale dello Stato, Fondo Direzione Generale delle Antichità e Belle Arti, Busta 222/70.1.

¹⁰ J.-Fr. Champollion, *Panthéon égyptien, collection des personnages mythologiques de l'ancienne Égypte*, Firmin Didot, Paris 1823-1825, di seguito citato *Panthéon*, <https://gallica.bnf.fr>.

immaginifico e lessicale degli dei dell'antico Egitto con criteri e modalità, che sono quelli del *Panthéon* dello Champollion¹¹.

In considerazione di questi stretti rapporti tra il Decifratore e il Regio Museo Egizio, concretizzatisi nei suoi successivi lavori e non solo e nell'utilizzo della lingua italiana in circostanze fonti di particolari emozioni, ad esempio nel caso delle dimensioni del colosso di Sethi II, espresse in misura italiana e non francese¹², abbiamo inteso chiamare “foglietti” le pagine dei *Papiers*. La traduzione restituisce anche l'italianità, di cui Champollion si sentì investito per la calorosa accoglienza ricevuta a fronte dei dispiaceri che lo affliggevano in patria. I “foglietti” sono sovente utilizzati sul *verso* e sul *recto*, rispettivamente indicati e in mancanza di riferimenti si intende il *recto*.

La seconda parte della presente Memoria è dedicata a Bernardino Drovetti o meglio al recupero dei riferimenti inventariali del *Catalogue*, l'elenco redatto in previsione della vendita-acquisto¹³. Le antichità vi sono riportate in sezioni, ognuna con numerazione a partire da 1, ma i contrassegni dovettero essere in gran parte rimossi dagli oggetti, almeno sulla base di quanto documentato¹⁴. I progetti dinastici di riordino del patrimonio archeologico, resero necessarie operazioni di ripristino o almeno di tentativi in questa direzione e determinante fu l'Accademia delle Scienze, assegnataria delle competenze sulle antichità come dalle Regie Patenti del 1832¹⁵.

In entrambi gli argomenti della presente Memoria l'Accademia delle

¹¹ R.V. Lanzone, *Dizionario di Mitologia Egizia*, 1-4, Litografia Fratelli Doyen, Torino 1881-1884, l'opera avrebbe dovuto avere anche una quinta dispensa – come Lanzone chiama le parti – che fu editata successivamente dal manoscritto inedito recuperato negli archivi del Museo Egizio di Firenze e che uscì postuma ad Amsterdam.

¹² *Lettres. Première*, cit., p. 19.

¹³ *Catalogue de la Collection d'Antiquités de Monsieur le Chevalier Drovetti*, manoscritto conservato presso l'Archivio Storico dell'Accademia delle Scienze (MSR. 342-1-E.1.3). Illustrazione e descrizione ragionata in A. Roccati e L. Donatelli, *Alle origini dell'egittologia e del Museo Egizio di Torino*, «Memorie dell'Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze Morali, Storiche e Filologiche», Serie V, Vol. 43, 2019. Quadro storico dell'epoca in *Quando l'Egitto venne a Torino. La collezione, il Viaggio, gli Uomini e l'Accademia delle Scienze*, Hapax Editore, Torino 2019. Copia del catalogo Drovetti, non in forma di *Cahyers*, pubblicata nel 1878: *Documenti Inediti per servire alla Storia dei Musei d'Italia*, Tipografia Bencini, Firenze-Roma 1878, di seguito citata *Documenti inediti*, <https://archive.org>.

¹⁴ A. Fabretti, *Documenti per servire alla storia del Museo di antichità di Torino*, per i tipi dell'autore, Torino 1888.

¹⁵ Archivio di Stato di Torino, istruzione pubblica musei ed altri stabilimenti scientifici, inv. 207.2, mazzo 3, fasc. 1 e sulle vicende amministrative del Regio Museo Egizio si rimanda alla pubblicazione di S. Curto, *Storia del Museo Egizio di Torino*, Centro Studi Piemontesi, Torino 1990, pp. 12-36.

Scienze svolse un ruolo fondamentale quale consesso di calorosa e prestigiosa accoglienza al Decifratore nel soggiorno torinese per lo studio del Regio Museo Egizio¹⁶ e nel decennio successivo per il ripristino inventariale sulle antichità della collezione anche con quelle che crediamo proprie dotazioni¹⁷. La ricerca ha consentito di attribuire alla raccolta Drovetti anche oggetti della cui acquisizione si erano perdute le tracce e presumibili segnature numeriche coeve alla redazione del *Catalogue*.

Elenchi parziali nel testo e integrativi riportano le “resilienze” di queste importanti esperienze scientifiche e museografiche del Regio Museo Egizio attraverso i dati reperiti nei *Papiers* e le permanenze o i ripristini delle inventariazioni originarie. Documentazione iconografica dal sito della BnF e riferimenti fotografici e schede degli oggetti da *Collezioni online* del Museo Egizio, www.museoegizio.it, o da altra fonte. Si specifica che le sigle Cat., Suppl. e Provv. indicano gli oggetti del Museo Egizio e corrispondono rispettivamente agli elenchi del catalogo *FRL*, agli inventari della direzione di Ernesto Schiaparelli e ad antichità di cui reperire i dati di acquisizione.

1. “Resilienze” dell’universalismo enciclopedico, applicato da Champollion ai primi passi del Regio Museo Egizio

Champollion a Torino, l’antico Egitto del Museo di Antichità e premessa sui Papiers

Gli anni 1822, 1823, 1824, 1825 sono fondamentali per le sorti dell’egittologia. Gli epicentri sono Parigi e Torino, cui il viaggio in Italia dello Champollion associa le collezioni egizie di Milano, Bologna, Firenze, Roma e Napoli¹⁸. A Parigi il 27 settembre del 1822 all’*Académie des Inscriptions et Belles-Lettres* lo Champollion comunica la decifrazione dei geroglifici¹⁹. A Torino nell’au-

¹⁶ Egregia sintesi del contesto accademico al tempo del soggiorno di Champollion nella capitale sabauda in S. Donadoni, *L’Accademia delle Scienze e il Museo Egizio di Torino*, in «Studi Piemontesi», VIII/2, 1979, pp. 335-344.

¹⁷ E. D’Amicone, *Corrispondenze della numerazione del «Catalogue» sugli oggetti della Drovettiana*, in A. Roccati e L. Donatelli, *Alle origini dell’Egittologia*, cit., pp. 121-131.

¹⁸ Il viaggio in Italia è sintetizzato come calendario e luoghi in *Lettres d’Italie*, cit., pp. 441-445.

¹⁹ J.-Fr. Champollion, *Lettre à M. Dacier, secrétaire perpétuel de l’Académie Royale des Inscriptions et Belles Lettres, relative à l’alphabet des hiéroglyphes phonétiques employés par les Égyptiens pour inscrire sur leurs monuments les titres, les noms et les surnoms de souverains grecs et romains*, Firmin Didot père & fils, Paris 1822, <https://gallica.bnf.fr>. Il sunto della memoria venne pubblicato in ante in «Journal des Savants», octobre 1822, pp. 620-628: *Extrait*

tunno-inverno 1823-1824 si perfeziona l'acquisto dell'eccezionale collezione di antichità egizie di Bernardino Drovetti e il governo sabauda ne affida la collocazione e classificazione scientifica come Regio Museo Egizio all'Accademia delle Scienze, incarico istituzionalizzato nel 1832 nell'ambito della riorganizzazione dei beni culturali sabaudi mediante le Regie Patenti²⁰. Il 7 giugno 1824 Champollion raggiunge Torino²¹, pochi mesi dopo l'arrivo della collezione Drovetti²² e il Regio Museo Egizio inizia i suoi primi passi nella futura egittologia. Dal 7 giugno, giorno del primo accesso al Regio Museo Egizio a seguito delle autorizzazioni ricevute e per circa nove mesi, il Decifratore è praticamente chiuso nel Museo in intensa attività di studio e documentazione. È il primo e il più lungo dei tre soggiorni nella capitale sabauda²³, pieno di entusiasmi scoperte, fondamentali per i successivi lavori, come abbiamo anticipato.

Il Museo di Antichità nel Palazzo dell'Università, tappa quasi obbligata in direzione del Regio Museo Egizio, gli procura l'inaspettato incontro con le due statue egizie della collezione Donati, acquisite dalla spedizione scientifica in Egitto del 1759²⁴. Sono il faraone Ramesse II, identificato dallo Champollion con il Sesostri delle fonti greche²⁵ e la statua della dea Sekhmet²⁶, di cui il Decifratore cita gli analoghi esemplari conservati a Parigi, acquistati in Egitto dal de Forbin²⁷, direttore delle collezioni egizie del Louvre, che avrebbe voluto dotare della collezione Drovetti senza riuscirci²⁸. Sempre nel Palazzo

d'un mémoire relatif à l'alphabet des hiéroglyphes phonétiques égyptien par m. Champollion le jeune, <https://gallica.bnf.fr>).

²⁰ Nota 15.

²¹ «Gazzetta Piemontese» 68, 8 giugno 1824, p. 364, www.internetculturale.sbn.it/Teca:20:NT000:TO00184804_41221. I soggiorni sabaudi di Champollion furono tre: il primo dal 7 giugno 1824 al 28 febbraio 1825, il secondo dal 21 luglio al 4 novembre 1825 e il terzo dal 3 al 13 marzo 1826.

²² L. Donatelli, *Il trasporto delle antichità da Alessandria d'Egitto a Torino (1817-1824)*, in *Quando l'Egitto venne a Torino*, cit., pp. 65-72.

²³ Nota 21.

²⁴ Spedizione del Donati e ricostruzione della sua collezione in A. Scattolin Morecroft, *The Enlightenment Rediscovery of Egyptology: Vitaliano Donati's Egyptian Expedition, 1759-63*, Routledge, London-New York 2017.

²⁵ *Lettres d'Italie*, cit., p. 11; www.museoegizio.it, Cat. 1381, collezione online.

²⁶ *Ibidem*; www.museoegizio.it, Cat. 1380, collezione online.

²⁷ Ch. Barbotin, *Les statues égyptiennes du Nouvel Empire au Louvre: une synthèse*, in HAL opscience, p. 11, <https://theses.hal.science/tel-01880296>. Submitted on 24 Sep 2018.

²⁸ S. Curto e L. Donatelli, *Bernardino Drovetti. Epistolario*, Cisalpino-Goliardica, Milano 1985, lettere nn. 73-74, 77, 82, 96 e 101; S. Guichard, *Lettere di Bernardino Drovetti Console di*

dell'Università lo Champollion vede la Mensa Isiaca²⁹, prodotto egittizzante del primo secolo dell'Impero romano e il busto interpretato come isiaco con caratteri incisi, considerati affini ai cinesi³⁰, di cui trae i calchi per l'amico sinologo Abel Rémusat³¹.

Di questa anticipazione egittologica i *Papiers* restituiscono le immagini del Ramesse stante in visione laterale sinistra tra le carte del manoscritto della seconda delle *Lettres* per il duca di Blacas, ma il disegno non è incluso nella redazione finale; l'iscrizione con il protocollo reale sul gonnellino del sovrano figura tra gli elenchi dei cartigli, verosimilmente per un lavoro di tipo dinastico, tema che impegnò molto il decifratore, desideroso di ridare concretezza alle successioni cronologiche dei protagonisti dell'antico Egitto. Specifichiamo che l'onomastica reale da noi utilizzata è quella asseverata dalla ricerca egittologica successiva allo Champollion, il quale nonostante la decifrazione e le antichità egizie della Drovetti non poteva essere in grado di operare le associazioni e le ricostruzioni, rese possibili dal proseguimento degli studi. Riportiamo di seguito (Tabella I) i “foglietti” con le immagini del primo incontro egittologico sabaudo del Decifratore:

Ramesse II della spedizione Donati	<i>Papiers</i>	“foglietto”	Cat.
-stante in visione laterale del fianco destro	20334	289	1381
-gonnellino con banda centrale iscritta con i cartigli	20339	193	

TABELLA I. Il Ramesse II della spedizione Donati nei *Papiers*.

Prima di procedere nell'itinerario drovettiano del Decifratore e proprio in relazione alle due modalità con cui il Ramesse II del Donati figura nei *Papiers*, ritengo necessaria una premessa sulle loro caratteristiche in relazione agli oggetti del Regio Museo Egizio. Dal loro esame, almeno fino allo stato attuale della ricerca, risultano materiali di lavoro in vario stadio di elaborazione. In taluni casi si tratta di semplici appunti, in altri di vere e proprie schede di

Francia ad Alessandria d'Egitto (1803-1830), Accademia delle Scienze, Torino 2005 (edizione italiana a cura di L. Donatelli), pp. 86-89.

²⁹ E. Leospo, *La mensa Isiaca di Torino*, Brill, Leiden 1978. Museo egizio, Cat. 7155, collezione online.

³⁰ S. Curto, *Storia di un falso celebre*, in «Bollettino della Società Piemontese di Archeologia e Belle Arti», n.s., XVI-XVII, 1962-1963, pp. 8-15, figg. 1-4. Museo di Antichità, Torino, n. 38+3267.

³¹ *Lettres d'Italie*, cit., pp. 27 e 52.

catalogo per opere in fase di progettazione, come quelle che riteniamo redatte in prospettiva di cataloghi, tra cui quello del Regio Museo Egizio e in altri casi sono lavori pronti per la stampa. Non mancano gli utilizzi polivalenti dei dati per compilazione di titoli, *in primis* i protocolli e i cartigli reali, come per il disegno del gonnellino del Ramesse II del Donati o per l'onomastica privata, che ordina alfabeticamente testimonianze rilevate nel Regio Museo Egizio e da altre raccolte. Ne citiamo una pagina dal «Recueil de noms propres» del volume 20333 dei *Papiers*, con il nome della mummia della collezione milanese nel Palazzo di Brera, Tjesmut³² e dal Regio Museo Egizio: il nome della madre, Tjesbastet, del titolare della stele lignea stuccata e dipinta, Padiamon-nesuttaui³³ e il coperchio del sarcofago di Shepmin, di cui avremo modo di scrivere in seguito³⁴.

A fini di chiarezza abbiamo strutturato le caratteristiche dei *Papiers* nei seguenti Gruppi A, B e C. In A abbiamo appunti e schede rimaste allo stato di pro-memoria o di elaborato, predisposto per un lavoro prefigurato ma non realizzato e in B sono riportati appunti “pronti alla stampa”. Per il Gruppo A oltre al Ramesse II del Donati, abbiamo inserito i seguenti oggetti: il coperchio del sarcofago in pietra di Shepmin, quale esempio di quella categoria di sarcofagi che il Decifratore collegò alle classi più abbienti; il gruppo scultoreo del secondo sacerdote dell'Horo di Behdet, *Pafiri*, seduto su seggio insieme alla moglie e il piattello di bronzo della signora della casa Tahesit, poiché oggetti altrimenti non reperibili come immagini e testi; la statuetta di Nefretmaau e lo specchio con manico in avorio quali “schede” della sezione degli «Objets de Petite Proportion», che riteniamo in studio ai fini del progettato catalogo; il *pyramidion* dell'artigiano Khonsu, il naos in legno dipinto dell'artigiano Kasa e il Papiro della defunta Meshasebeq, utili a documentare ulteriori interessi e modalità operative del Decifratore.

Il coperchio del sarcofago di Shepmin con i titoli del proprietario e relativa genealogia figura nel volume dei *Papiers*, dedicato alle iscrizioni funerarie dai sarcofagi³⁵. Nell'attuale fase della ricerca è l'unica testimonianza reperita nei *Papiers* dei grandi sarcofagi in pietra su cui si soffermò l'attenzione dello

³² *Papiers*, 20333/38. *Lettres d'Italie*, cit., pp. 116 e 181-182 con programma e soggiorno a Milano il 6 marzo 1825. Champollion visita il «Cabinet des antiques au Palais Brera» e incontra il direttore, Carlo Cattaneo, e il marchese Malaspina, proprietario di una ricca collezione.

³³ *Ibidem*. Stele lignea stuccata e dipinta del sacerdote Padiamon-nesuttaui, Cat. 1573, www.museoegizio.it, Cat. 1573, collezione online.

³⁴ *Papiers*, 20333/39. Coperchio del sarcofago di Shepmin, Cat. 2203. J.R. Pérez-Accino y E. Ruiz García (dirección editorial), *Papeles de Champollion*, cit., p. 133 (*Papiers* 20374/24); www.museoegizio.it, Cat. 2203, collezione online.

³⁵ *Papiers*, 20374/289 e nota 34.

Champollion, ovviamente per i testi incisi ma anche per quanto materiale e dimensioni prospettavano come riflessioni sullo status economico-sociale dei proprietari: «persone più doviziose, e di più elevata posizione»³⁶. Infatti nella *Descrizione del Regio Museo Egizio* un ruolo di rilievo viene assegnato al sarcofago del visir Gemenefharbak, la cui testata è «scolpita con molto sapere, e con somma verità» e i cui testi coprono completamente l'esterno del fondo della cassa, meritando di essere ammirati «per purità di contorni, e per la cura estrema che pose lo scultore a dare a ciascun animale raffigurato ne' vari segni geroglifici il carattere, ed a così dire la propria natura»³⁷. In questo caso non è solo l'egittologo che scrive, ma anche il naturalista, poiché negli anni giovanili Champollion fu studioso oltre che di lingue anche di entomologia e botanica³⁸ e la «giusta determinazione di genere» è tema che riprende e sviluppa anche in ambito religioso, come avremo modo di scrivere. Al momento non abbiamo trovato riferimenti sugli altri esemplari in pietra della collezione, che sicuramente dovettero essere ragione delle stesse riflessioni: i grandi coperchi dei sarcofagi dell'intendente del tempio di Amon, Thutmosi e della moglie, provenienti dalla loro tomba n. 32 della necropoli tebana di Khokha³⁹, il coperchio di Ibi, gran sacerdote di Tebe, Intendente della Divina Adoratrice del dio Amon⁴⁰ e la testata del coperchio di un altrettanto grande sarcofago in pietra, appartenente a un sacerdote, di cui rimane solo parte del titolo sulla parte ricurva della testata⁴¹.

Il gruppo scultoreo del secondo sacerdote dell'Horo di Behdet, Pafiri, seduto su seggio insieme alla moglie⁴² e il piattello di bronzo della signora della casa Tahesit⁴³ sono stati selezionati, poiché, come abbiamo anticipato, i *Papiers* ne riportano disegno e testo. Il gruppo scultoreo non dovette essere completato e le ultime colonne predisposte per ricevere il testo risultano vuote. Inoltre la natura poco accurata della scultura si nota dalla manica pieghettata della veste della moglie, non pertinente alla tunica aderente o viceversa. Il pezzo

³⁶ *Descrizione*, cit., p. 467.

³⁷ *Ibidem*; www.museoegizio.it, Cat. 2201, collezione online.

³⁸ L. de La Brière, *Champollion inconnu. Lettres inédites*, Librairie Plon, Paris 1897, pp. 30-31, <https://archive.org>.

³⁹ La scoperta della tomba è avvenuta nel 1983 da parte della missione ungherese, che vi ha rinvenuto il nome «Lebolo», collaboratore del Drovetti; www.museoegizio.it, Cat. 2044 e 2205, collezione online.

⁴⁰ www.museoegizio.it, Cat. 2201, collezione online.

⁴¹ Cat. 2206. *FRL I*, p. 294, n. 2206 che lo definisce erroneamente anepigrafe.

⁴² *Papiers*, 20333/153. *FRL I*, p. 418, n. 3055.

⁴³ *Papiers*, 20382/14.4. *FRL I*, p. 437, n. 3199.

dovette interessare Champollion per il titolo di secondo sacerdote dell'Horo di Behdet, associato alla pelle di leopardo e riprodotta nelle peculiarità della sequenza delle stelle, sostitutive delle *maculae* del felino. La moglie impugna il sistro, strumento musicale sacro alla dea Hathor e in genere associato alle cantatrici di inni in onore delle divinità. Il piattello della signora della casa Tahesit è il n° 4 di una serie di oggetti votivi della sezione «Objets de Petite Proportion», lavorati in bronzo. Ne fanno parte un' impugnatura di sistro in forma di fusto di papiro, sormontato da volto hathorico⁴⁴; una brocca dedicata a Padineferhotep dal sacerdote Hori⁴⁵; una situla offerta in memoria del padre divino, sacerdote di Amon, Shedneferhem⁴⁶; un altarino dedicato alla mangusta, animale sacro alle divinità solari⁴⁷ e una statuetta della dea gatta Bastet⁴⁸.

Denominazione, materiale, misure e testo rendono quasi una "scheda" di catalogo il "foglietto" con la graziosissima statuetta dell'adolescente Nefretmaau, scolpita in «bois dit de Meroé» e doratura del collare e della fascetta sulle reni; il disegno ne riproduce la testa in visione frontale e laterale destra e sinistra a ragione della caratteristica acconciatura a treccia tipica dell'età e con gli orecchini a cerchio; le iscrizioni riportano la dedica alla figlia da parte della madre Nebthetpet⁴⁹. Nello stesso "foglietto" della statuetta di Nefretmaau figura un pregevole specchio di bronzo con manico in avorio, materiali rispettivamente contraddistinti dalle lettere A e B apposte dal Decifratore⁵⁰.

Una pagina intera dei "foglietti" è dedicata al *pyramidion* di Khonsu (Fig. 1)⁵¹. Non sappiamo se Champollion avesse effettuato disegni anche di quello di Ramose⁵², integro a differenza di quello di Khonsu, rotto in punta. In ogni caso avrebbe dovuto farlo in prospettiva dell'auspicato catalogo. I *Papiers* non conservano tutta la documentazione dell'attività del Decifratore e anche

⁴⁴ *Papiers*, 20382/14.3. Cat. 6253 o 6255 o 6256 come da *FRL* 2, p. 238, rispettivamente di cm 12, 17 e 13; un'impugnatura analoga corrisponde al Cat. 6254, ma è descritta come molto ossidata e non può essere l'esemplare disegnato da Champollion.

⁴⁵ *Papiers*, 20382/14.6; www.museoegizio.it, Cat. 3191, collezione online.

⁴⁶ *Papiers*, 20382/15.8; www.museoegizio.it, Cat. 3178, collezione online.

⁴⁷ *Papiers*, 20382/14.7. *FRL* 1, p. 72, n. 926.

⁴⁸ *Papiers*, 20382/16.11. *FRL* 1, p. 70, n. 890.

⁴⁹ *Papiers*, 20382/13.1; www.museoegizio.it, Cat. 3107, collezione online.

⁵⁰ *Papiers*, 20382/13.2. *FRL* 1, p. 252, n. 6431.

⁵¹ *Papiers*, 20327/116. *FRL* 1, pp. 173-174, n. 1622.

⁵² www.museoegizio.it, Cat. 1603, collezione online.

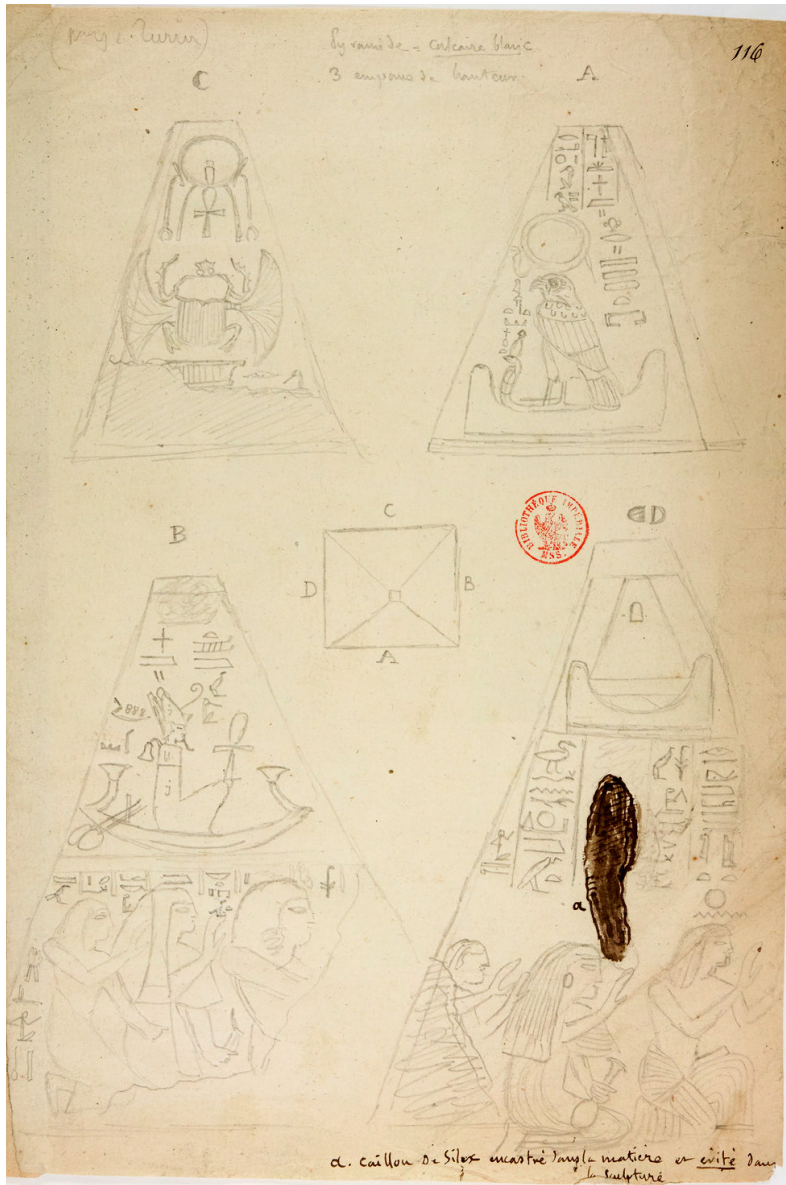


Fig. 1. Pyramidion della cappella funeraria dell'artigiano del villaggio operaio tebano di Deir el-Medina. *Papiers Champollion*.

Source: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b10467846d/f181.item>

se tantissimi, non ne sono che «débris»⁵³. Tuttavia è possibile che il *pyramidion* di Khonsu dovette suscitare la sua attenzione per quanto annotato nella parte bassa della pagina: «a. caillou de silex encastré dans la matière et évité dans la sculpture», ove la lettera «a» è riportata in corrispondenza dell'inclusione. Infatti Khonsu e la moglie inginocchiati in atto di adorazione e con le due colonne di testo di invocazione al dio lasciano libera la parte centrale, ove il nome della donna non viene inciso, mentre a distanza ragionata dall'inclusione silicea viene riportato quello del figlio, scolpito in dimensioni ridotte per il poco spazio disponibile. Sulle altre facce la composizione occupa tutta la superficie. Khonsu, la moglie, questa volta con il nome e un altro figlio sono in adorazione della barca sacra di Osiride; il sole del mattino Khepri ha le ali dispiegate nella forma augurale a calice di papiro e il disco solare associato a geroglifici, simboli di forza, timore e vita; il dio falco Ra-Horakhty domina il segno dell'orizzonte.

Il *pyramidion* occupa una pagina completa dei *Papiers*, ma quasi come il paragrafo di un capitolo sono strutturati i disegni e le iscrizioni del tempietto di legno stuccato e dipinto, dedicato dall'artigiano Kasa alla dea Anukis⁵⁴; Associati ad Anukis sono Khnum e Satis, che condividevano con la dea il proprio culto nella città di Elefantina, alla prima cateratta del Nilo. In quanto protettori del *limes*, ove avvenivano le prime misurazioni della piena del fiume, erano divinità particolarmente oggetto di devozione popolare, anche alla distanza di circa 200 km come lo era Deir el-Medina, luogo di vita e lavoro di Kasa. Al “foglietto” con l'intestazione «Temple de la déesse Anouké» seguono quelli con la descrizione e testi sulla porta, sulle pareti laterali destra e sinistra, sulle colonnine di sostegno della tettoia e sulla base; “foglietti” riportano anche confronti con altre rappresentazioni ed oggetti. Proprio da uno di questi confronti, l'emblema in legno dipinto della collezione Salt al Louvre⁵⁵, desumiamo la possibile data, almeno in questo caso, della struttura dei “foglietti” in sezione o scheda di un lavoro in elaborazione. Se disegno e rilevamento dei testi non poterono che avvenire nel corso del soggiorno torinese, la redazione nella forma riportata dai *Papiers* dovette essere successiva alla visione e all'esame della collezione Salt, da cui il disegno sul “foglietto” 170 e quindi non prima dell'estate del 1826. La presa visione della collezione nei magazzini

⁵³ Termine desunto dal lessico dello Champollion.

⁵⁴ *Papiers*, 20323/167 e 169-170 (iscrizioni e confronto iconografico con altro oggetto), 168 (disegno del naos), 170-174 (confronti su acconciatura e grafia), 176 (Anukis sulla barca sacra) e 205 (Khnum seduto su seggio); www.museoegizio.it, Cat. 2446, collezione online.

⁵⁵ G. Andreu, *Testimonianze del culto di Anukis*, in G. Andreu e A.M. Donadoni Roveri (a cura di), *Gli artisti del faraone. Deir el-Medina e le Valli dei Re e delle Regine*, Catalogo della mostra, Torino, Palazzo Bricherasio e Museo Egizio, 14 febbraio-18 maggio 2003, p. 247, n. 214 a.

del porto di Livorno, ove era depositata, data il giorno prima o il giorno stesso del 15 marzo della lettera al fratello e il suo esame gli occupa i mesi seguenti da aprile a metà luglio⁵⁶. Altra data possibile per la redazione della “scheda” del naos di Anukis potrebbe essere successiva all’ordinamento della sezione egizia del Louvre, di cui la raccolta Salt era epicentro. Dal gruppo dei “foglietti” si distingue quello, che riporta il disegno della dea sulla barca sacra, pubblicato nel *Panthéon*⁵⁷. Anche Khnum sulle pareti del piccolo sacello è presente nei *Papiers*, ma collocato tra i materiali dedicati alla figura del dio, presumibilmente per una tavola del *Panthéon* non realizzata o da realizzare in futuro, poiché le edizioni dell’opera sono diverse, ognuna integrata e aggiornata⁵⁸.

Altro disegno di peculiare interesse, perché attesta il metodo usato per ottenere la copia dei soggetti e dei testi direttamente dal documento, è il particolare del papiro della defunta Meshasebeq⁵⁹. Il soggetto rappresentato è di suggestiva bellezza tanto più se ne valutiamo la componente immaginifica religiosa e la sottesa speculazione sacrale. La dea Hathor in forma bovina avanza dalla montagna tebana in segno di rinascita e la parte posteriore del corpo, ancora nella profondità del “ventre” roccioso dei tempi primordiali delle origini, sembra evolvere nella figura maschile, che sull’altro fianco montano si protende nel cielo, innalzando il disco solare tra le braccia (Fig. 2). Il disegno, che riprende i colori dell’originale, è particolarmente interessante, perché se ne conserva il calco, tecnica ampiamente praticata da Champollion per riprodurre le iscrizioni e renderle disponibili allo studio anche in tempi successivi⁶⁰.

Pur essendo all’epoca l’unico mezzo funzionale allo scopo, non se ne può negare l’aggressività, soprattutto sulle superfici colorate, che qualche abbassamento di tono sicuramente dovettero subire. Per questo le deprecate ridipinture effettuate dal direttore Cordero di San Quintino potrebbero essere state determinate dal desiderio di ripristinare lo status originario, dove questo era stato in qualche modo offeso, riflessione che ci riserviamo di verificare. Questa giustificazione non elimina le responsabilità addossategli dagli Accademici e che insieme ad altri fattori furono causa della destituzione dall’incarico⁶¹. Di quanto

⁵⁶ *Lettres d’Italie*, cit., pp. 299-365.

⁵⁷ *Panthéon*, pl. 20 (A).

⁵⁸ *Papiers*, 20323/205.

⁵⁹ *Papiers* 20323/109 (disegno) e 110-111 (calchi), www.museoegizio.it, Cat. 1769, collezione online.

⁶⁰ Tecnica utilizzata da Champollion per i calchi e citazione di calchi di oggetti del Regio Museo Egizio in H. Hartleben, *Lettres d’Italie*, cit., pp. 21, 83-84, 133, 143, 167, 170, 264 e 410.

⁶¹ Sulle inopportune ridipinture A. Fabretti, *Documenti per servire alla storia del Museo di antichità di Torino*, edito nel 1888 per i tipi dell’autore, cit., pp. 39-44.



Fig. 2. Scena del sole che sorge all'orizzonte dal papiro della defunta Meshasebeq (Cat. 1769), *Papiers Champollion*.

Source: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b10464780z/f142.item>



Figg. 3-4. I tori sacri Apis e Mnevis, rispettivamente di colore nero e giallo, dipinti sul coperchio del sarcofago esterno dello scriba regio Butehamon (lo Schébamou di Champollion, Cat. 2236). *Papiers Champollion* (Apis) e *Panthéon égyptien* (Mnevis).

Source: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b10464780z/f62.item>

<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k15192946/f357.item>

descritto del Gruppo A proponiamo una versione sintetica nell'ordine della nostra descrizione per una più immediata reperibilità dei dati (cfr. Tabella II, alla pagina seguente). Come in Nota 2 gli oggetti descritti, afferenti ai *Papiers*, possono essere visionati nel sito della BnF.

Per il Gruppo B abbiamo selezionato quattro soggetti: i tori Apis e Mnevis sul coperchio della cassa esterna all'altezza del polpaccio della mummia di Butehamon, lo Schébamon di Champollion; la dea Anukis sulla barca sacra dalle raffigurazioni del citato tempietto di Kasa e la piccola stele centinata dedicata ad emblemi della dea Hathor. In tre casi il disegno risulta essere quello utilizzato dall'amico litografo Dubois per la pubblicazione del *Panthéon égyptien*; il toro Mnevis, invece è unicamente testimoniato dalla tavola del *Panthéon*, ma ovviamente dovette avere un "foglietto". Ad eccezione della dea Anukis sulla barca sacra, la selezione degli altri tre soggetti è dovuta al fatto che "foglietto" e tavole del *Panthéon* restituiscono status conservativi di maggiore integrità.

In relazione a Butehamon-Schébamon l'alto livello sociale gli aveva garantito la sontuosa deposizione nella doppia cassa sagomata nella forma del corpo in posa supina, come di norma all'epoca (XXI dinastia)⁶². Parecchi "foglietti" dei *Papiers* ne riportano testi e caratteristiche nel volume che, più di altri, raccoglie documentazione su sarcofagi e mummie⁶³. I tori Apis e Mnevis sono raffigurati sul coperchio del sarcofago esterno (figg. 3-4). La composizione con il defunto in loro adorazione è collocata all'altezza del polpaccio. Attualmente la figura di Mnevis non è più leggibile e quella di Apis è lacunosa, così che "il foglietto" e la tavola con il disegno dell'Apis e la tavola con Mnevis sono importanti testimonianze documentarie⁶⁴. La dotazione di sarcofagi di Butehamon è riportata anche nella *Descrizione del Regio Museo Egizio*, cui è dedicato il paragrafo seguente⁶⁵. Il lungo testo del *Rituale dell'Apertura della bocca*, inscritto in grafia ieratica all'interno dei coperchi è stato pubblicato dallo Schiaparelli in edizione critica con le redazioni sul papiro della defunta Sais (sezione egizia del Louvre) e sul corridoio della tomba di Sethi I⁶⁶.

⁶² A. Niwiński, *Sarcofagi della XXI dinastia (CGT 10101-10122)*, Ministero per i Beni e le Attività Culturali-Soprintendenza al Museo delle Antichità Egizie, Torino 2004, pp. 21-47, nn. CGT. 10101-10103 (Cat. 2236-2237).

⁶³ *Papiers*, 20374/17, 19-21, J.R. Pérez-Accino y E. Ruiz García (dirección editorial), *Papeles de Champollion*, cit., pp. 115 e 123, www.museoegizio.it, Cat. 2236 e 2237, collezione online.

⁶⁴ *Papiers* 20323/40 (Apis) = *Panthéon*, pl. 37 (Apis) e *Panthéon*, pl. 38 (Mnevis); A. Niwiński, *Sarcofagi*, cit., fig. 84.

⁶⁵ *Descrizione del Regio Museo Egizio*, cit., pp. 467-468.

⁶⁶ *Il Libro dei funerali degli antichi Egiziani*, tradotto e commentato da E. Schiaparelli, Ermanno Loescher, Roma-Torino-Firenze 1882, 1890.

Oggetto	<i>Papiers</i>	“foglietto”	Cat.
Ramesse II in granito rosa della spedizione Donati			1381
-stante in visione laterale del fianco destro	20334	289	
-gonnellino con banda centrale iscritta con i cartigli	20339	193	
Coperchio del sarcofago di Shepmin	20374	24	2203
Gruppo scultoreo in pietra di coniugi	20333	153	3055
Piattello di bronzo	20382	14.4	3199
Statuetta lignea di Nefretmaau		13.1	3107
Specchio con manico in avorio		13.2	6431
<i>Pyramidion</i> in calcare dell'artigiano Khonsu con la moglie e il figlio	20327	116	1622
Naos ligneo dell'artigiano Kasa	20323		2446
-fronte e lato sinistro		168	
-iscrizioni		167 e 169-170	
-confronti		170-175	
-Anukis sulla barca sacra		176	
-dio Khnum seduto sul trono		205	
Papiro della defunta Meshasebeq con il particolare della vacca sacra che avanza dalla montagna tebana in rappresentanza del sorgere del sole		109-111	1769

TABELLA II. Gruppo A. Oggetti su “foglietti” pro-memoria o in forma di schede, per i quali non sono stati reperiti esiti a stampa.

Un altro esempio di disegno portato a finitura per la stampa è la piccola stele in calcare con due tempietti dedicati al volto della dea Hathor (a destra) e al suo emblema, la *menat*, pendente di finitura della chiusura del suo pesante collare (a sinistra)⁶⁷. La stele è colorata: azzurro per l'iscrizione e per i capelli della dea, che nell'effigie a destra ha le orecchie bovine del suo animale sacro e nella *menat* ha orecchie umane e acconciatura reale con il copricapo ad avvoltoio, abbinato all'emblema hathorico dell'ureo con disco solare tra corna bovine. Il testo celebra la dea come «Signora di ogni offerta, occhio di Ra, che è il suo Iten (disco solare), padrona del cielo e signora di tutti gli dei»⁶⁸. Gli altri colori sono: l'azzurro che contorna la stele, impedendo che la mortalità terrena possa toccarla; il giallo e il rosso, anch'essi simbolo di vita come il sole che se ne fregia, contrassegnano parti altrettanto importanti, quali l'accesso ai naoi, la *menat* e i nastri che fermano ed ornano l'acconciatura della dea; il nero contorna gli occhi e dà risalto al terreno sottostante i naoi. Il nero è anch'esso colore augurale, poiché evocativo del fertile fango nilotico. Tuttavia difficile reperire questi colori nello status di conservazione attuale. Effetto del calco come abbiamo ipotizzato? Sebbene la presenza di un calco non sia attestata – ma abbiamo anticipato che i *Papiers* sono «débris» dell'immane lavoro prodotto dallo studioso – è certo che Champollion si sia impegnato molto in questa attività e che anche la steletta hathorica ne possa essere stata coinvolta. La piccola lapide, infatti, dovette far parte del gruppo di circa trenta stele di non grandi dimensioni, ma gradevoli per lavorazione e colori, tolte dalle casse il 7 luglio e, come scrive al fratello, in condizioni perfette: «les couleurs d'une conservation parfaite. Je calque et je colorie les plus jolies; ce sont de véritables bijoux»⁶⁹. L'8 agosto sempre al fratello comunica di essere impegnato nei calchi:

Tout le temps que je ne passe pas à mon bureau à rédiger mes «Lettres» est employé à donner des coups de brosse sur les stèles et les inscriptions du Musée. J'ai déjà fait plus de cent empreintes en papier des bas-reliefs et des textes hiéroglyphiques qui m'ont paru avoir quelque intérêt⁷⁰.

Sulla corrispondenza dei colori della piccola stele hathorica a quelli originali, non abbiamo dubbi a ragione della grande attenzione e cura loro riservata, costantemente documentata dalla corrispondenza italiana come da

⁶⁷ *Papiers* 20323/88, www.museoegizio.it, Cat. 1658, collezione online.

⁶⁸ Su altri titoli rilevati da Champollion cfr. *Papiers* 20323/76.

⁶⁹ *Lettres d'Italie*, cit., p. 26.

⁷⁰ *Ibidem*, p. 33.

quella inviata dall'Egitto⁷¹. Unica eccezione potrebbe essere il giallo, proprio in base a quanto scrive il Decifratore all'amico litografo Dubois e cioè al suo utilizzo come colore di fondo per dare risalto alle scene ove i colori manchino, perché «une méthode toute Égyptienne donc, elle est bonne»⁷².

L'attenzione che Champollion riservava ai colori e l'importanza dei suoi *Papiers* quali testimonianze di status conservativi non più attuali, lo dimostra anche la citata insegna lignea della dea Anukis, utilizzata come confronto per il naos di Kasa. Il disegno sul "foglietto" riporta i colori corrispondenti ad ogni singola parte dell'oggetto e anche se potevano essere solo tracce, la situazione odierna ne mostra la quasi totale assenza⁷³. Il disegno riproduce la faccia non interessata dalla frattura, evidente sull'altro lato⁷⁴. Come per i reperti del Gruppo A proponiamo una visione sintetica degli oggetti selezionati per il Gruppo B per una più immediata reperibilità dei dati (Tabella III).

Oggetto	<i>Papiers</i>	"foglietto"	<i>Panthéon</i>	Cat.
Naos ligneo dell'artigiano Kasa	20323			2446
-Dea Anukis sulla barca sacra		176 (n° 20. a)	pl. 20 (A)	
Sarcofago di Butehamon, lo Schébamon di Champollion				2236
-Toro Apis		40 (n° 37 XIII a)	pl. 37	
-Toro Mnevis		non reperito	pl. 38	
Stele votiva con emblemi della dea Hathor		88 (n°18. a)	pl. 18 (A)	1658

TABELLA III. Gruppo B. Disegni dai "foglietti", preparati per la stampa e pubblicati.

Per il Gruppo C ci siamo orientati su un esempio di studio polivalente. Sono i dodici "foglietti" della sezione «Ustensils, Meubles, Instruments Objets

⁷¹ *Lettres d'Italie*, cit., p. 103.

⁷² *Ibidem*.

⁷³ G. Andreu, *Testimonianze*, cit.

⁷⁴ *Ibidem*.

d'offrande & & &», di un volume apparentemente dedicato quasi esclusivamente ad oggetti del Regio Museo Egizio⁷⁵.

I soggetti raffigurati sono particolari da stele e altari, rispettivamente contrassegnati da una numerazione progressiva o da brevi descrizioni. Duplice la ragione della scelta. *In primis* la verifica delle corrispondenze tra i numeri assegnati alle lapidi e gli oggetti del Museo. Secondo motivo, la suggestione esercitata tra la corrispondenza dei soggetti dei primi due foglietti e quanto riportato dalla *Descrizione del Regio Museo Egizio*. Il testo cita la *pietas* dei familiari, che offrono ai defunti: «commestibili, frutti e fiori»⁷⁶, così da chiederci se scrivendo la propria relazione, Champollion non avesse avuto nella propria mente proprio quelle sequenze. In effetti il volume che raccoglie i “foglietti” con i citati particolari iconografici, sembrerebbe una vera e propria sezione del catalogo da dedicare al Regio Museo. La prima parte è quella degli «Ustensils, Meubles, Instruments Objets d'offrande & & &», da cui i soggetti selezionati; la seconda è dedicata a «Objets de Petite Proportion», da cui la statuetta di Nefretmaau, lo specchio con manico in avorio e il piattello in bronzo da noi assegnati al gruppo B; la terza a «Statues funéraires», rispettivamente con trentasei e nove schede. Seguono:

– la «Grande Stele coloriée» dello scalpellino Kara, che offre agli dei e ai genitori e parenti, ricevendo a sua volta offerte insieme alla moglie e al fratello dai figli ed occupa ben quattro “foglietti” (*recto* e *verso*, ad eccezione del “foglietto” 49, che sul *verso* riporta il cartiglio monumentale di Akhenaten)⁷⁷. La lapide riporta numerose figure su tre registri con cinque divinità, sedici personaggi, di cui Kara nel primo registro, nove nel secondo e sei nel terzo, cui aggiungere i due bambini dietro le spalle del fratello di Kara, ognuno con un fiore di loto⁷⁸;

– la «Stele double»⁷⁹ dello scriba del tesoro Djehutynfer, chiamata così perché riutilizzata anche sul retro, sebbene per un testo di minori proporzioni, che Champollion riporta per intero e con cui il defunto e la moglie chiedono protezione invocando gli dei della necropoli; delle iscrizioni con il lungo testo liturgico vengono privilegiati nomi e titoli.

Entrambe le lapidi non sono sicuramente di piccole proporzioni, poiché misurano rispettivamente cm 75 x 55 e 97 x 55, ma probabilmente sono inserite nella raccolta di “foglietti” a ragione dell'onomastica familiare e delle

⁷⁵ *Papiers*, 20382/1.

⁷⁶ *Descrizione*, cit., p. 464.

⁷⁷ *Papiers*, 20382/49 v.; www.museoegizio.it, Cat. 1378, collezione online.

⁷⁸ *Papiers*, 20382/46-49 r/v. Cat. 1636 e *Papiers* 20374/6 (basso destra), 7 (r/v) 8 (alto sinistra), R. Pérez-Accino y E. Ruiz García (dirección editorial), *Papeles de Champollion*, cit., pp. 83-89; www.museoegizio.it, Cat. 1636, collezione online.

⁷⁹ *Papiers*, 20382/50-54 r/v; www.museoegizio.it, Cat. 1456, collezione online.

funzioni rivestite dai titolari. Lo desumiamo dal fatto che l'ultima sezione è riservata ai «Titres de Défunts», tema che interessava moltissimo il Decifratore, analogamente a quello dinastico e a quello religioso al fine della ricostruzione della vita civile dell'antica civiltà egizia. Per ragioni che non comprendiamo alla «Grande Stele coloriée» segue il citato disegno del blocco di calcare con i cartigli di Akhenaten, su cui avremo modo di tornare a scrivere in seguito⁸⁰.

Il primo “foglietto” degli «Ustensils, Meubles, Instruments Objets d'offrande & &», mostra pani, ortaggi e un grappolo d'uva⁸¹ e il secondo offerte floreali (Fig. 5)⁸²; il terzo riproduce recipienti generalmente posti sotto gli altari e una cerimonia di lustrazione⁸³; il quarto documenta offerte di frutta⁸⁴ e a seguire un flabello⁸⁵, contenitori per cerimonie di purificazione⁸⁶ e offerte di acqua e alimenti⁸⁷. Se da stele, viene riportato il relativo n. assegnato, mentre i particolari da tavole d'offerta sono accompagnati da una breve descrizione. Allo stato attuale della ricognizione è stato possibile associare i particolari ai seguenti oggetti (due stele, due bassorilievi, un architrave di porta e due tavole d'offerta):

– Cat. 1635⁸⁸, «Stel. N° 1»: pani e sequenza di pani, cetriolo, taglio di carni *sepehet*, grappolo d'uva, mazzo di fiori e tre vasetti *nemeset* per la purificazione del defunto;

– Cat. 1643⁸⁹, «Stel. N° 2»: pane, cetriolo, frutto, tre vasi di cui due decorati da fiore di papiro a corolla aperta;

– Cat. 1644⁹⁰, «Stel. N° 4»: mazzo di fiori e tre vasi, di cui due decorati da stelo di fiore di loto in boccio;

– Cat. 1663⁹¹, «Stel. N° 5»: brucia incenso e vassoio con papiri o loti pendenti;

– Cat. 1524⁹²: le composizioni floreali come dalla Nota.

⁸⁰ *Papiers*, 20382/49v.; www.museoegizio.it, Cat. 1378, collezione online.

⁸¹ *Papiers*, 20382/1.

⁸² *Papiers*, 20382/2.

⁸³ *Papiers*, 20382/3.

⁸⁴ *Papiers*, 20382/5.

⁸⁵ *Papiers*, 20382/6.

⁸⁶ *Papiers*, 20382/8-9.

⁸⁷ *Papiers*, 20382/10-11.

⁸⁸ www.museoegizio.it, Cat. 1635, collezione online.

⁸⁹ www.museoegizio.it, Cat. 1643, collezione online.

⁹⁰ Cat. 1664. *FRL I*, p. 185, n. 1664.

⁹¹ Cat. 1663. *FRL I*, p. 185, n. 1663.

⁹² Cat. 1524. *FRL I*, p. 142, n. 1524. Nome e volto del defunto sono scalpellati e sulla stele nel

I vasi con l'acqua lustrale sono attribuibili alla tavola d'offerta con vaschette in forma di cartiglio (Prov. 898), che così verrebbe a recuperare l'originaria pertinenza drovettiana⁹³ e alla tavola d'offerta con vaschetta munita di scaletta (Cat. 1758)⁹⁴.

Alla più immediata reperibilità di dati è correlata la successiva tabella IV.

DA STELE	<i>Papiers</i> 20382	“foglietto”	n° Champ.	Cat.	Oggetto
-Pane e sequenza di pani		1	«Stel. N° 1»	Cat. 1635	Stele dello scultore Qen
-Cetriolo					
-Taglio di carni <i>sepehet</i>					
-Grappolo d'uva					
-Mazzo di fiori		2	«Stel. N° 2»	Cat. 1643	Architrave dalla cappella dello scriba regio Tjanuni
-Tre vasetti <i>nemeset</i> per la purificazione del defunto		3			
-Pane		1			
-Cetriolo		1			
-Frutto		5			
-Tre vasi di cui due decorati da fiore di papiro a corolla aperta		3			
- Mazzo di fiori		2	«Stel. N° 4»	Cat. 1664	Bassorilievo con quattro offerenti fiori, anatre e un vitello
-Tre vasi, di cui due decorati da stelo di fiore di loto in boccio		3			
-Brucia incenso		8	«Stel. N° 5»	Cat. 1663	Bassorilievo con due offerenti
-Vassoio con papiri o loti pendenti		11			

continua nella p. successiva

primo registro figurano le tre composizioni floreali al centro e in basso a sinistra e il bocciolo di loto a destra in basso del *Papiers*, 20382/2.

⁹³ L. Habachi, *Tavole d'offerta, are e bacili da libagione n. 22002-22076*, Torino 1977, p. 111, n. CGT 22063 (Prov. 898).

⁹⁴ *Ibidem*, pp. 111-112, n. CGT 22064 (Cat. 1758).

prosegue dalla p. precedente

-Tre mazzi di fiori e bocciolo di loto		2		Cat. 1524	Stele con dignitario volto e nome scalpellati
DA TAVOLE D'OFFERTA					
-Contenitore per acqua lustrale		10		Prov. 898	Tavola d'offerta con due vaschette a forma di cartiglio
-Contenitore <i>hes</i> per l'acqua lustrale		10		Cat. 1758	Tavola d'offerta con vaschetta dotata di scaletta

TABELLA IV. Gruppo C. Corrispondenze tra soggetti dei “foglietti” e gli oggetti, da cui sono stati selezionati.

Come per le precedenti la documentazione afferente ai *Papiers* può essere visionata nel sito della BnF. Integriamo questa parte con una citazione dalla sezione «Objets de Petite Proportion», che segue quella degli «Ustensils, Meubles, Instruments, Objets d'offrande & & &», da cui abbiamo tratto i “foglietti” esaminati. È l'*ushabty* in alabastro con tracce del verde con cui era stato dipinto a fini augurali, essendo evocativo dell'eternità dei cicli naturali; il cartiglio lo attribuisce a Ramses VI⁹⁵. L'oggetto collega la Drovettiana ai successivi scavi Schiaparelli nella Valle delle Regine (inventari Suppl. 1903-1906, ai nn. 5472-5492 anch'essi *ushabty* in alabastro). Ovviamente rispetto a ben più importanti *liaisons*, quali le stele di Maia e Kha della collezione Drovetti e le rispettive cappella e tomba intatta delle scoperte Schiaparelli, è poca cosa, ma costituisce un ulteriore contributo a quella mappatura delle aree di ricerca del Drovetti e collaboratori, con cui si cerca di ricostruire la contestualità documentaria degli oggetti della collezione⁹⁶.

Dopo questa premessa sui *Papiers*, seguiamo nell'itinerario che conduce Champollion al Regio Museo Egizio.

⁹⁵ *Papiers*, 20382/22-24; www.museoegizio.it, Cat. 2508, collezione online.

⁹⁶ A. Roccati, *Topografia drovettiana*, in A. Roccati e L. Donatelli, *Alle origini...*, cit., pp. 12-26.

2. I primi passi del Regio Museo Egizio dalla *Descrizione del Calendario generale pe' Regii Stati e dai Papiers*

Champollion accede al Regio Museo Egizio il 9 giugno, ottenute le necessarie autorizzazioni ed accolto dagli Accademici delle due Classi congiunte, che anticipano un altro evento analogo nella primavera e di cui avremo modo di riferire in seguito⁹⁷. L'incontro è ragione di entusiasmo per la quantità e qualità dei materiali, da cui desumere informazioni e dati scientifici ma anche di incontenibile emozione per quel binomio costante tra ragione e sentimento, con cui il Decifratore vive le proprie esperienze.

Dopo una settimana globalità informativa storiografica e criteri ordinatori sono enunciati nella lettera al Segretario di Stato, Roget De Cholex, ma gli stessi sono espressi nella *Descrizione*⁹⁸. Lo scritto è redatto in italiano, ma nella presentazione si precisa che «la breve descrizione è dovuta alla cortesia del meritatamente famoso Gian Francesco iuniore». Non è la prima volta che la *Descrizione* viene citata in relazione al soggiorno torinese dello Champollion, ma confrontata con altre testimonianze e per una specifica terminologia utilizzata acquista valenze particolari.

L'eccezionale consistenza qualitativa e quantitativa delle antichità del Museo vi viene definita «Enciclopedia Egiziana»⁹⁹ e il suo studio, sostenuto e favorito dalla calorosa accoglienza scientifica dell'Accademia delle Scienze, diviene per Champollion la straordinaria esperienza conoscitiva alle origini anche dell'organizzazione della sezione egizia del Louvre, di cui viene nominato direttore. Infatti così scrive all'amico accademico Gazzera a metà settembre del 1827, tre anni dopo il soggiorno sabauda:

Vous présumez bien que je mets à exécution le plan de classification qu'on n'a pas voulu me laisser exécuter à Turin. Ce sera une véritable encyclopédie égyptienne par ordre de matières, religion, gouvernement, mœurs et usages, costumes, etc. Tout passera successivement sous les yeux des spectateurs, et chaque objet, mis en relation avec ceux d'une même classe, en prendra un nouvel intérêt¹⁰⁰.

Nella lettera del 14 giugno al fratello Champollion «*en phrase du pays*» definisce

⁹⁷ *Lettres d'Italie*, cit., p. 12. Tuttavia già nella giornata del 7, dopo la visita al Museo di Antichità e l'inaspettato incontro con le statue del Donati, raggiunge il Palazzo dell'Accademia delle Scienze (*Lettres d'Italie*, cit., p. 12).

⁹⁸ Nota 3.

⁹⁹ *Descrizione*, cit., p. 469.

¹⁰⁰ *Lettres d'Italie*, cit., pp. 420-421.

il Regio Museo Egizio: «Questo è cosa stupenda» e se l'uso dell'italiano potrebbe sembrare il doveroso e rispettoso omaggio e ringraziamento alle istituzioni, agli studiosi ed agli amici che lo hanno accolto, la sua ricorrenza in altre circostanze consentirebbe di prospettare anche la valenza affettiva per una lingua considerata particolarmente adatta all'espressione degli entusiasmi scientifici, sentimentali ed estetici, di cui proprio la denominazione *Enciclopedia Egiziana* è a sua volta degna rappresentazione. Infatti il 7 giugno, scrivendo al fratello e chiedendogli di assicurare l'amico orientalista Rémusat sull'invio delle iscrizioni pseudocinesi sul busto isiaco conservato presso il Palazzo dell'Università, usa i termini «*Dolce Riso de l'Isis de Turin*»¹⁰¹, che interpretano efficacemente la delicata espressione del volto, attribuito alla dea Iside. Altresì Champollion si esprime in italiano quando a causa del terribile caldo del luglio torinese, ironicamente accenna al «*dolce far niente*»¹⁰², che purtroppo non può permettersi a causa di quanto lo impegnino le antichità da visionare e molte altre sono le occasioni in cui questo lessico italiano figura nella corrispondenza, quasi in forma di apprendistato per una cittadinanza, cui prepararsi praticandone la lingua.

Tornando all'*Enciclopedia Egiziana*, di questa *Enciclopedia* Champollion prefigura l'organizzazione in tre categorie: *storia, religione e culto, vita pubblica e privata*. È inutile dire quanto il termine *Enciclopedia* dovesse essere familiare all'epoca dopo la pubblicazione dell'*Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, curata da Diderot e d'Alembert e che nella seconda metà del Settecento si era proposta come compendio universale del sapere, fonte di ispirazione per le opere successive. Se una documentazione antica poteva essere coinvolta da un progetto simile, questo poteva esserlo proprio la civiltà egizia del Regio Museo Egizio e grande riconoscenza per questa esperienza Champollion ebbe sempre all'Accademia, che lo annoverò anche tra i propri soci. Tornando all'*Enciclopedia Egiziana* e alle tre divisioni in *storia, religione e vita civile*, riteniamo che anche in questo caso l'«*Encyclopédie*» possa aver avuto un ruolo, poiché vi ritroviamo temi cari al Decifratore. «*Science du Dieu*», «*Science de l'Homme*» e «*Science de la Nature*» come esperienze del procedere razionale dell'Umanità nella riflessione sui temi della vita e della morte sono elemento centrale delle riflessioni sulla religione egizia. Ugualmente la storia come «*Mémoire*» del potere e dei sentimenti di *pietas* familiare occupa la prima parte della *Descrizione* e l'«*Imagination*» come rivisitazione letteraria e artistica del patrimonio immaginifico e linguistico egizio è un argomento, cui sono dedicate pagine e pagine

¹⁰¹ *Lettres d'Italie*, cit., p. 27.

¹⁰² *Lettres d'Italie*, cit., pp. 30 e 189.

della corrispondenza come delle *Lettres* al duca di Blacas. Al Regio Museo Egizio, quindi, la storia poteva finalmente essere riscritta con i nomi dei protagonisti, anche e proprio attraverso le grandi statue e circa tre decenni dopo il grande Tolstoj in visita a Torino nel 1857 nel suo «Diario di Viaggio» ricorda di aver visitato il *Museo delle statue*.

A fine anno, dopo l'arrivo della colossale scultura di Sethi II, la situazione è quella riportata dalla *Descrizione*, che a questo punto seguiamo fino alla definizione dell'universalismo enciclopedico del Regio Museo Egizio, integrandola ove necessario con i dati dalla corrispondenza, dalle *Lettres* al duca di Blacas e ovviamente dai *Papiers*.

Il testo inizia dai monumenti storici con le grandi statue e con il colosso di «arenaria rossa» di Sethi II, che si impone con i suoi «dodici piedi liprandi di altezza»¹⁰³. Il testo italiano rende in misure francesi le dimensioni straordinarie della scultura, ma nella seconda delle *Lettres* al duca di Blacas sono espresse in francese, ma con il sistema di misura italiano: «5 mètres de hauteur totale, y compris une base de 60 centimètres environ»¹⁰⁴, unica volta in cui il Decifratore usa valori metrici diversi dai francesi. Constatando l'uso dell'italiano in circostanze fonti di particolari emozioni, la vista della statua dovette rientrare in queste situazioni. Importante per le dimensioni, lo è anche per la lavorazione, poiché «est formée d'un seul bloc de très-beau grès rougeâtre. Son poids est évalué à 18750 livres»¹⁰⁵. Seguono le due statue dei Thutmosidi (Thutmosi I e III), esempio di eccelsa lavorazione di diversa altezza ma di eguale perfezione formale¹⁰⁶ e che la prima delle *Lettres* al duca di Blacas precisa in «granit noir à tâches blanches»¹⁰⁷. La successiva è quella in «granito roseo»¹⁰⁸ di Amenhotep II, inginocchiato nell'atto di offrire due recipienti di forma arrotondata, che in maniera meno succinta il Decifratore descrive al duca di Blacas, identificandoli correttamente come le «*ampullae*» delle offerte di vino agli dei¹⁰⁹.

Statua reale viene considerata anche quella in «granito nero»¹¹⁰, del sacerdote astronomo Anen, fratello della regina Teje, consorte di Amenhotep III.

¹⁰³ *Descrizione*, cit., p. 463.

¹⁰⁴ *Lettres. Seconde*, cit., p. 19.

¹⁰⁵ *Descrizione*, cit., p. 464.

¹⁰⁶ *Ibidem*.

¹⁰⁷ *Lettres. Première*, cit., pp. 23 e 28.

¹⁰⁸ *Descrizione*, cit., p. 464.

¹⁰⁹ *Lettres. Première*, cit., pp. 36-38.

¹¹⁰ *Descrizione*, cit., p. 464; *Lettres. Seconde*, cit., p. 40, ove la pietra è indicata come «monolithes de basalte vert foncé et presque noir». Riportiamo l'indicazione per l'importanza che il decifratore conferisce ai materiali utilizzati in arte come in architettura e negli arredi di lusso.

Figura al n° 4 dell'elenco dei faraoni citati dalla *Descrizione*. I cartigli sui pendagli della cintura inducono Champollion a valutarla rappresentazione del faraone, sebbene in abbigliamento non ufficiale e l'onomastica privata sulle iscrizioni viene interpretata come dedica della scultura al sovrano. Il rapporto in verità è opposto: è il sovrano che premia l'importante personaggio, peraltro a lui collegato da legami familiari, con una statua, opera delle più raffinate botteghe palatine e il faraone non è Amenhotep II, ma il figlio Amenhotep III. Tuttavia, come abbiamo anticipato, le genealogie dinastiche non potevano essere accreditate nella maniera corretta attuale. Troppi dati sarebbero stati necessari e il percorso sebbene ben indirizzato, era solo avviato. Nonostante la decifrazione e la straordinaria capacità di lettura dello Champollion non pochi erano gli ostacoli da superare per la nuova disciplina. Le *Lettres* al duca di Blacas propongono un continuo confronto tra i dati desumibili dalle fonti greche, le uniche disponibili *ante* decifrazione, le liste reali incise nel tempio di Abido (Tavola di Abido), note dal 1818 e di cui Champollion aveva copia¹¹¹ e le antichità del Regio Museo Egizio, definite dallo Champollion il miglior commento iconografico della Tavola di Abido¹¹². Per questo statue, stele, sarcofagi, papiri e ogni tipo di documento utile a ricomporre l'annalistica faraonica furono rilevati, disegnati e collazionati in appunti, restituitici dai *Papiers*, come nel caso del protocollo reale sul gonnellino del Ramesse II del Donati.

In altre due occasioni la presenza dei cartigli porta Champollion fuori strada: il gruppo scultoreo dei coniugi Panehsi e Tarenu¹¹³ e la stele di Meru, tesoriere del sovrano Mentuhotep¹¹⁴. Entrambe le opere non sono citate nella *Descrizione*, ma sono ampiamente descritte nelle *Lettres* al duca di Blacas¹¹⁵. Nel caso del gruppo di coniugi i cartigli reali fanno ritenere al Decifratore che si tratti della scultura del faraone Amenhotep I, fondatore della XVIII dinastia e della regina Ahmose-Nefertari, che considera moglie. I Reali sono riportati nelle iscrizioni come augurali con preghiere loro rivolte dalla copia. Amenhotep I è considerato correttamente fondatore della XVIII dinastia, mentre Ahmose-Nefertari da studi successivi risulta regina madre. Per la stele di Meru, il nome del sovrano viene associato allo Smendes delle fonti greche della XXI dinastia, diversamente dal Mentuhotep dell'inizio dell'XI dinastia. Tuttavia nonostante l'erronea assegnazione cronologica, l'interpretazione

¹¹¹ *Lettres. Première*, cit., pp. 14-16.

¹¹² *Lettres d'Italie*, cit., p. 31.

¹¹³ *Papiers*, 22339/224 e 233. Cat. 3053. *FRL I*, p. 417, n. 3053.

¹¹⁴ *Papiers*, 20339/218; www.museoegizio.it, Cat. 1447, collezione online.

¹¹⁵ *Lettres. Première*, cit., pp. 17-20 e *Lettres. Seconde*, cit., pp. 114-118.

della lapide come migliore prodotto dell'arte del proprio tempo è corretta, poiché effettivamente rappresenta il recupero delle tradizioni scultoree dopo la pesante crisi dinastica succeduta al periodo della costruzione delle piramidi, il Primo Periodo Intermedio. Champollion non ne aveva ancora conoscenza, poiché la sua esperienza delle crisi politiche attraversate dal potere faraonico è circoscritta all'epoca Hyksos, di circa cinquecento anni dopo. Tuttavia la sua sensibilità estetica assegna all'opera il giusto valore.

Il gruppo statuario dei coniugi Panehsi e Tarenu, rispettivamente addetto all'altare del dio Amon, il marito e corista¹¹⁶ al servizio della stessa divinità, la moglie e la stele di Meru sono interessanti anche perché sono un'ulteriore testimonianza della citata realizzazione di calchi da parte di Champollion, relativamente alle fiancate destra e sinistra del gruppo statuario e alla parte centinata della stele di Meru. Peraltro sempre i "foglietti" dei *Papiers* conservano il calco di un'iscrizione con un *ren.ef nefer*, soprannome ("il suo bel nome"), composto con il cartiglio di Psammetico I della XXVI dinastia, che riporta la scritta, che l'operazione è stata eseguita a secco, da cui deduciamo che il Decifratore non fosse all'oscuro dell'attacco conservativo agli strati pittorici.

Segnaliamo la numerazione progressiva 224, 233 e i contrassegni A/13, A/12, rispettivamente all'estremità destra e nella parte superiore centrale dei calchi delle fiancate del gruppo scultorei dei coniugi. L'uso di lettere dell'alfabeto, seguite da numerazione progressiva, è un altro degli elementi che collega l'esperienza del Regio Museo Egizio dello Champollion a quella successiva presso il Louvre. Nelle *Observations* della *Notice descriptive* del catalogo della sezione egizia di Parigi così leggiamo:

Chaque division principale des monuments est marquée d'une lettre de l'alphabet, et chaque lettre a une série particulière de numéros à compter du chiffre 1. Chaque étiquette se compose donc d'une lettre et d'un nombre, et cette lettre est placée en tête de chaque page de cette Notice, afin que le public y trouve, sans confusion, la description du monument étiqueté qu'il a sous les yeux¹¹⁷.

Ciò che è riportato sui calchi del Regio Museo Egizio è un'anticipazione della prassi attuata con le antichità egizie del Louvre. La valutazione di queste sigle è in corso, così come per i numeri riportati sulla destra, sistema praticato anche in altre circostanze e che non sappiamo se collegare a ordinamenti tematici, cronologici o altro o a più pragmatiche notazioni di sequenze

¹¹⁶ Interpretiamo in questo modo il termine 'cantatrice' associato al titolo di *shemayt*, seguito dal nome della divinità celebrata dai canti liturgici.

¹¹⁷ J.-Fr. Champollion, *Notice Descriptive*, cit., p. V.

temporali di esecuzione dei calchi. Ci riserviamo verifiche dallo studio dell'analogia pratica adottata dal Decifratore nel catalogo della collezione Nizzoli, commissionato dal Granduca di Toscana. I suoi "foglietti", copiati e ordinati dal direttore del Museo, Arcangelo Michele Migliarini, potrebbero fornire utili delucidazioni in merito. Pur non potendo precisare ancora la natura di queste annotazioni, in entrambi i casi riflettono la sistematicità del lavoro scientifico dello Champollion in questa prima fase di studio della collezione e di organizzazione del Regio Museo Egizio. Una testimonianza ne abbiamo anticipato con la numerazione progressiva delle stele riportata in Tab. IV. La successiva applicazione al Louvre dimostra quanto il soggiorno sabaudo sia stata esperienza fondante per la strutturazione dei successivi lavori.

Sigle e numeri reperiti sui calchi sono nelle Tabb. V a-b, che seguono la sequenza numerica ad eccezione del "foglietto" 233, posizionato insieme al 224, perché pertinente allo stesso oggetto (Tab. V a); per i calchi *Papiers* 20339 diamo anche la lista progressiva per sigla (Tab. V b); specifichiamo che le letture A/10 della stele di Meru e A/12 della stele dei coniugi Panehsi e Tarenu hanno qualche elemento di incertezza a causa della sbrecciatura in corrispondenza dello 0 e di ritocchi in A/12.

<i>Papiers Champollion</i>	Sigla	Num.	Cat.
20323			
Papiro della defunta Meshasebeq con il particolare della vacca sacra che avanza dalla montagna tebana a rappresentazione del sorgere del sole ¹¹⁸		110-112 (109 di-segno colore)	1769
20326			
Piccola stele dedicata dall'artigiano di Deir el-Medina, Hui, alle oche del dio Amon ¹¹⁹		147	1607
20339			
Stele in demotico dedicata dai figli al padre ¹²⁰		3	1655

¹¹⁸ Nota 59.

¹¹⁹ www.museoegizio.it, Cat. 1607, collezione online. Da lettera al Gazzera del 16 novembre 1825 sappiamo che il calco dovette essere stato fatto dopo quella data e forse dal custode Cantù, che aiutò Champollion nella realizzazione dei calchi, come da *Lettres d'Italie*, cit., pp. 109, 264 (oche) e 265, 353.

¹²⁰ www.museoegizio.it, Cat. 1655, collezione online.

Stele di Meru, tesoriere del faraone Mentuhotep dell'XI dinastia ¹²¹	A/10	218	1447
Stele di Thutmosi III, offerente al dio itifallico Min ¹²²	A/14	220	1460
Stele del capo artigiano Inheretkhau in adorazione di Amon-Ra, Montu e Amenhotep; nel registro inferiore l'artigiano Sethi e il figlio offerenti ad Ahmose-Nefertari e alla dea Rattaui ¹²³		221	7358
Iscrizioni sulle fiancate del gruppo statuario di Panehsi e Tarenu ¹²⁴			3053
- sinistra	A/13	224	
- destra	A/12	233	
Grande stele di Cleopatra e Cesarione ¹²⁵	A/6	229	1764
Stele di Sethi I, offerente ad Amenhotep I e alla regina Ahmose-Nefertari ¹²⁶	A/11	ante 230 (calco) 230 (disegno colore)	1466
Stele con figura di sovrano offerente ad una divinità maschile con disco solare sulla testa; i cartigli non sono iscritti ¹²⁷	A/7	231	1470
Gruppo statuario di Horemheb e Mutnegemet ¹²⁸			1379
- Mutnegemet nelle sembianze di Sfinge femminile alata sulla fiancata del trono dalla sua parte (immagine utilizzata per la copertina interna delle <i>Lettres</i>)	A/9		
- Decreto di incoronazione di Horemheb sul retro del gruppo statuario	A/15	234	
Stele di Hui in adorazione di Amenhotep I e del dio Ptah ¹²⁹		236	1453

prosegue dalla p. precedente e continua nella p. successiva

¹²¹ Nota 114.

¹²² www.museoegizio.it, Cat. 1460. *FRL* 1, pp. 123-124, n. 1460.

¹²³ www.museoegizio.it, Cat. 7358, collezione online.

¹²⁴ Nota 113.

¹²⁵ www.museoegizio.it, Cat. 1764, collezione online.

¹²⁶ www.museoegizio.it, Cat. 1466, collezione online.

¹²⁷ www.museoegizio.it, Cat. 1470. *FRL* 1, p. 127, n. 1470.

¹²⁸ www.museoegizio.it, Cat. 1379, collezione online.

¹²⁹ www.museoegizio.it, Cat. 1453, collezione online.

prosegue dalla p. precedente

Piccola lapide devozionale ad Amenhotep I ed Ahmose-Nefertari (<i>recto</i>), riutilizzata come esercizio di figura (<i>verso</i>) ¹³⁰			1453 bis
- <i>recto</i> : devozionale ai Reali e senza l'estremità a cuspidale		237	
- <i>verso</i> : esercizio di figura (disegno per pl. VII delle <i>Lettres</i>)		238	

TABELLA V a. Elenco di calchi di oggetti del Regio Museo Egizio, ordinati per sequenza numerica.

<i>Papiers Champollion</i>	Sigla	Num.	Cat.
20339			
Grande stele di Cleopatra e Cesarione	A/6	229	1764
Stele con figura di sovrano offerente ad una divinità maschile con disco solare sulla testa; i cartigli non sono iscritti	A/7	231	1470
Gruppo scultoreo del faraone Horemheb e della regina Mutnegemet			1379
- Mutnegemet nelle sembianze di Sfinge femminile alata (utilizzato per litografia copertina interna delle <i>Lettres</i>)	A/9		
- Decreto di incoronazione di Horemheb sul retro del gruppo statuario	A/15	234	
Stele di Meru, tesoriere del faraone Mentuhotep dell'XI dinastia	A/10	218	1447
Stele di Sethi I, offerente ad Amenhotep I e alla regina Ahmose-Nefertari	A/11	ante 230 (calco) 230 (disegno colore)	1466
Stele di Thutmosi III, offerente al dio itifallico Min	A/14	220	1460
Iscrizioni sulle fiancate del gruppo statuario di Panehsi e Tarenu			3054
- sinistra	A/13	224	
- destra	A/12	233	

TABELLA V b. Elenco di calchi di oggetti del Regio Museo Egizio, ordinati per sigla.

¹³⁰ www.museoegizio.it, Cat. 1453 bis. *FRL I*, pp. 120-121, n. 1453.

Tornando alla *Descrizione*, penultima statua in elenco è quella di Amenhotep I in «pietra calcarea bianca»¹³¹, che nonostante le dimensioni minori rispetto alle precedenti dimostra ugualmente di essere un prodotto di egregia lavorazione. Nella prima delle *Lettres* al duca di Blacas Champollion la descrive così: «jolie statue en pierre calcaire blanche, d'environ un pied dix pouces de hauteur et d'une conservation parfaite»¹³². Insieme alla scultura viene illustrata anche la statuetta in legno pregiato della regina Ahmose-Nefertari. La descrizione è dettagliata e non manca di segnalare il nero del corpo della donna¹³³, su cui non si esprime, ma che gli studi successivi hanno di volta in volta interpretato come riferimento alle presumibili origini nubiane della dinastia o a valenza augurale dovuta al nero, colore del fertile fango d'Egitto.

La lista delle statue si conclude con quella più amata da Champollion, il Ramesse II seduto sul trono: «il monumento più puro, che da tanto remota antichità sia pervenuto insino a noi. Fino a più fortunate scoperte questa statua vuol essere considerata il capolavoro della scultura egiziana»¹³⁴. Alla statua i *Papiers* dedicano più “foglietti”: in visione frontale seduto sul trono, come protocolli reali nei testi iscritti e con nome e titoli dell'amata moglie Nefertari e del figlio principe ereditario, Amonherkhepeshef in dimensioni minori ai lati delle gambe¹³⁵. Inoltre dalle *Lettres* sappiamo che Champollion fu entusiasta di reperire almeno tre statue dello stesso faraone, poiché oltre al Ramesse II del Donati nel Palazzo dell'Università e oltre la scultura-capolavoro, il Regio Museo Egizio conservava anche un'altra opera: «qui se recommande autant par son volume et son travail déjà très-remarquables»¹³⁶. È la triade in granito rosa con Ramesse II tra gli dei tebani Amon e Mut, identificata dal Decifratore con la dea guerriera Neith. Disegno della scultura e testi sono nei *Papiers*¹³⁷.

L'elenco delle statue reali della *Descrizione* termina con Ramesse II, ma *Papiers* e *Lettres* ne propongono integrazioni. Nei *Papiers* reperiamo il monumentale cartiglio di Akhenaten, scolpito per la scala d'accesso al tempio di Aten in Karnak¹³⁸ e il decreto di incoronazione di Horemheb con la regina Mutnegemet in forma di sfinge alata, anticipato in relazione ai calchi. Nelle

¹³¹ *Descrizione*, cit., p. 464.

¹³² *Lettres. Première*, cit., p. 20.

¹³³ *Ibidem*, p. 22.

¹³⁴ *Descrizione*, cit., p. 464.

¹³⁵ *Papiers* 20339/200-204 e iscrizione dorsale in *Papiers* 20374/5; www.museoegizio.it, Cat. 1380, collezione online.

¹³⁶ *Lettres. Première*, cit., pp. 73-75.

¹³⁷ *Papiers*, 20339/196-198.

¹³⁸ Nota 77.

Lettres viene descritto il dio Amon, seduto sul trono in protezione del faraone Horemheb stante alla sua sinistra, definito: «L'un de ces magnifiques monuments de pierre calcaire blanche cristallisée et d'une excessive dureté»¹³⁹. La descrizione è interessante perché riporta la mancanza dei piedi del dio e di una parte del blocco della base: «Les pieds ont disparu avec une portion du bloc qui formait la base du groupe»¹⁴⁰, attualmente presumibilmente opera di un restauro, come sembrerebbe attestare la linea di ribassamento dell'eventuale integrazione. L'ultimo sovrano che citiamo aggiunge alla lista dei faraoni della XVIII e XIX dinastia un successore della XXII dinastia. Figura e cartiglio sono riprodotti sul frammento di una piccola stele lignea. È Takelot, nipote di Sheshonk I, «il conquistatore»¹⁴¹, di cui Champollion specifica che «il Museo ha monumenti fra le statue colossali»¹⁴². Sulla stele Takelot è raffigurato quale offerente ad una divinità che occupava la parte andata perduta. Il disegno della lapide è colorato ed è la pl. XVI delle *Lettres*, da cui presumibilmente fu staccata la pagina, inserita quale appunto tra i «foglietti» dei *Papiers*¹⁴³.

La *Descrizione* prosegue con le molte sculture di vario materiale e misura e dipinte, attestanti il desiderio di memoria dell'ufficialità come della *pietas* personale. Ne riportiamo passi per le informazioni riferibili sia alla redazione della *Descrizione* sia ai “foglietti” della Tabella IV e Fig. 5. La parte iniziale della citazione riguarda le statue e la seconda le sculture, comprendendovi i bassorilievi e le stele:

Molte altre, e ve ne sono quasi duecento, varie così di materia come di misura, le quali conservano pur anco i colori di cui piaceva agli artisti Egiziani ornar loro sculture, rappresentano persone private d'ogni condizione, e d'ogni ceto [...]. Veggonsi su queste sculture, in gran parte colorite, e di cui molte sono condotte con meravigliosa squisitezza, i membri di una stessa famiglia, di ogni sesso, e di ogni età, che offrono commestibili, frutti e fiori alle immagini quando del padre, quando della madre, e quando di altri antenati¹⁴⁴.

¹³⁹ *Lettres. Première*, cit., p. 46.

¹⁴⁰ *Ibidem*.

¹⁴¹ *Descrizione*, cit., p. 465. Il Decifratore chiama Sheshonk «il conquistatore» per le fortunate campagne in Palestina, con cui dopo il lungo periodo di stasi dalle ultime campagne internazionali seguite a Ramesse II, riesce a restituire all'Egitto il ruolo di potenza che aveva rivestito nei secoli precedenti.

¹⁴² Una delle molte statue della dea Sekhmet della collezione riporta i cartigli di Sheshonk I (www.museoegizio.it, Cat. 252, collezione online).

¹⁴³ *Papiers*, 20339/213.

¹⁴⁴ *Descrizione*, cit., p. 465.

Difficile non associare la descrizione di questi «commestibili, frutti e fiori» ai particolari di quelle stele numerate progressivamente, citate nel paragrafo precedente come presumibile sezione del catalogo, che Champollion avrebbe voluto redigere per far evolvere il Regio Museo Egizio alla dimensione di *Enciclopedia Egiziana*. Se qualche dubbio ci poteva essere sull'effettiva redazione della *Descrizione* da parte dello Champollion a ragione del testo italiano, nonostante la specificazione in apertura sulla sua paternità, direi che questa coincidenza non può che smentirla¹⁴⁵. Ad un passo analogo ci affideremo successivamente per confermare questa riflessione.

Le citate «sculture, in gran parte colorite» dovettero essere comprese nel gruppo delle circa trenta stele, frutto dell'apertura delle casse a ridosso del 7 luglio, come dalla data della lettera al fratello. Peraltro la giornata fu fortunata perché si procedette anche al disimballo dell'eccezionale cornice lignea con la «superbe inscription en hiéroglyphes sculptés en relief dans le creux et peint», cui Champollion dedica la dettagliata descrizione nelle *Lettres* al duca di Blacas per l'unicità del documento, tuttora valida, la conservazione, la lavorazione e i dati storici desumibili dai cartigli di Ramesse II e dai titoli degli offerenti, il visir Neferrenpet, assistito dal caposquadra Neferhotep in ginocchio in posa di rispetto del soprastante protocollo reale¹⁴⁶. Meno eclatanti rispetto alla cornice di porta, le sculture del 7 luglio non sono meno importanti rispetto ad un particolare dato storico-culturale, che Champollion deduce dalla frequenza con cui i Reali Amenhotep I e Ahmose-Nefertari figurano nelle iscrizioni. Nelle lettere al fratello, con cui il rapporto è scientifico oltre che affettivo, vi si sofferma più volte sia per questo aspetto sia per la policromia perfettamente conservata sia per l'attività di copiatura, che lo impegna come disegni e calchi: «Je calque et je colorie les plus jolies»¹⁴⁷. In particolare gli sembra «un miracle de beauté et de perfection»¹⁴⁸ quella di maggiori dimensioni, nella quale Sethi I, secondo faraone della XIX dinastia, è raffigurato nell'atto di bruciare incenso in onore dei predecessori Amenhotep I ed Ahmose-Nefertari dell'inizio della XVIII dinastia. La *Descrizione* non manca di citarla come testimonianza di culto degli antenati a livello ufficiale, rispetto a quanto attestato anche come devozione popolare, come dalla stele con la statua del sovrano su lettiga per essere trasportata in

¹⁴⁵ Il testo dovette essere tradotto dal Costa, che avrebbe curato la traduzione anche della versione italiana della prima delle *Lettres* al duca di Blacas, progetto, che purtroppo non si realizzò: *Lettres d'Italie*, cit., pp. 44 e 54.

¹⁴⁶ *Lettres d'Italie*, cit., pp. 25-26; www.museoegizio.it, Cat. 1464, collezione online.

¹⁴⁷ *Lettres d'Italie*, cit., p. 26.

¹⁴⁸ *Lettres d'Italie*, cit., pp. 26 e 28-29.

processione¹⁴⁹. La scoperta di un frammento di papiro, che conferma la correttezza dell'interpretazione, avviene a ridosso del giorno di Natale, poiché è in quella data che scrive al fratello di aver reperito un documento particolarmente interessante nell'ultimo dei pacchetti contenenti papiri «qu'il me restait à examiner de plus près m'a singulièrement réjoui par les documents qu'il renferme»¹⁵⁰. Il testo è in grafia ieratica e riporta una lista di invocazioni ad Osiride in ogni luogo e forma, ad Horo ed Anubi e a sovrani divinizzati, tra cui Amenhotep I e Ahmose-Nefertari (Fig. 6)¹⁵¹. Champollion attribuisce il frammento al rituale religioso che chiama *Litanie des Dieux*, di cui riferisce di aver trovato due copie con varianti e che nella parte alta della seconda pagina riporta i cartigli di Amenhotep I e quelli della Ahmose-Nefertari. Altra testimonianza è sul sarcofago di Butehamon, lo Schébamon di Champollion. Il defunto è raffigurato quale sacerdote officiante ad Amenhotep I e ad Ahmose-Nefertari sul coperchio della cassa esterna, primo registro, all'altezza delle cosce¹⁵². Nella Tabella seguente vi è un elenco di lapidi presumibilmente reperite dall'apertura delle casse il 7 luglio. Le stele sono riprodotte da Champollion in policromia ad eccezione di quella, originariamente monocroma, contrassegnata in tondo e riutilizzata per la scrittura di un testo in geroglifici in inchiostro rosso in status conservativo migliore dell'attuale; sul "foglietto" è riportata la lettera Y, assegnata dallo Champollion come classificazione secondo il citato sistema applicato anche alla sezione egizia del Louvre. Purtroppo di quella così perfetta conservazione della policromia attualmente è rimasto poco o niente con casi anche di inquinamento di materiali conseguente alle ridipinture del San Quintino, come nella stele dell'artigiano Uageshemsi offerente a Thutmosi I, molto deteriorata. L'elenco delle lapidi citate, visionate con l'apertura delle casse del 7 luglio è nella Tab. VI con riferimento alla sequenza dei "foglietti" all'interno dei vari *Papiers*; è riportata in tondo l'unica monocroma, che si segnala per il migliore stato di conservazione del testo sul verso; la stele di Sethi I, devozionale ad Amenhotep I e Ahmose-Nefertari, è il positivo a colori del calco riportato nella tabella precedente.

Dimensioni, misure e soggetti di quanto fino ad ora riferito furono fondamentali per Champollion nelle ricostruzioni dinastiche come nelle valutazioni e giudizi sull'arte egizia. Imperava il primato dell'arte greca, conseguente alle impostazioni classiciste dello storico dell'arte Winckelmann. Champollion non

¹⁴⁹ *Lettres d'Italie*, cit., pp. 29-30; www.museoegizio.it, Cat. 1454 bis. CGT 50049, collezione online.

¹⁵⁰ *Lettres d'Italie*, cit., p. 120.

¹⁵¹ *Papiers* 20339/4 e 5; *Lettres. Première*, cit., pp. 53-57 e *Lettres. Seconde*, cit., p. 44. Cat. 1877. W. Pleyte et F. Rossi, *Papyrus de Turin, I e II*, E. J Brill, Leide 1869-1876, pp. 21-25, pls. XI-XIII (*Papiers* 20339/4).

¹⁵² *Lettres. Première*, cit., pp. 26-27; *Lettres. Seconde*, cit., p. 55 e A. Niwiński, *Sarcofagi*, cit., p. 22.

nega di riconoscere il fascino che esercitano anche su di lui le «inimitables perfections»¹⁵³ dell'arte greca, ma non intende essere filelleno a scapito di un'altra grande esperienza artistica, che considera antecedente e maestra e non solo per anteriorità temporale, fattore che comunque non considera trascurabile. Ripercorrere il suo iter concettuale in questa sede ci porterebbe fuori strada, anche perché è tema di gran parte della prima delle *Lettres* e pagine della seconda. Ci limitiamo a fornirne alcuni elementi, *in primis* le affinità con cui l'Accademia lo affiancò anche in questo percorso.

<i>Papiers</i> e Oggetto	“foglietto”	Cat.
20323		
Stele dedicata ad emblemi sacri alla dea Hathor ¹⁵⁴	88	1658
20324		
Stele centinata dedicata alla triade tebana di Amon, Mut e Khonsu ¹⁵⁵	231 (<i>recto</i>) 232 (<i>verso</i>)	1580
20330		
Stele della signora della casa Uab, in adorazione di sei immagini serpentiforini, reiteranti la dea Meret-Seger ¹⁵⁶	91 e 95	1533
Stele di dedicanti alle immagini terrene di Amon-Ra, la rondine e la gatta ¹⁵⁷	93	1591
20339		
Stele di Penbui, officiante ad Ahmose Nefertari ¹⁵⁸	104	1449
Stele dell'artigiano Uageshemsì offerente a Thutmosi I ¹⁵⁹	105	1457
Parte sinistra di stele con cartiglio di Takelot I della XXII dinastia ¹⁶⁰	223	1468
Stele di Sethi I, offerente ad Amenhotep I e alla regina Ahmose-Nefertari (da calco, cfr. Tabella V)	230	1466

Tabella VI. Elenco delle stele presumibilmente dal gruppo disimballato il 7 luglio.

¹⁵³ *Lettres. Seconde*, cit., p. 66.

¹⁵⁴ www.museoegizio.it, Cat. 1658, collezione online.

¹⁵⁵ www.museoegizio.it, Cat. 1580, collezione online.

¹⁵⁶ www.museoegizio.it, Cat. 1533, collezione online.

¹⁵⁷ www.museoegizio.it, Cat. 1591, collezione online.

¹⁵⁸ www.museoegizio.it, Cat. 1449. M. Tosi e A. Roccati, *Stele*, cit., p. 68, n. 50036.

¹⁵⁹ www.museoegizio.it, Cat. 1457. M. Tosi e A. Roccati, *Stele*, cit., p. 34, n. 50002.

¹⁶⁰ *FRL I*, p. 126, n. 1468. Dal 1929 ai Musei Vaticani a completamento dell'altra metà di loro dotazione e scambio con frammento di base di statua dall'Iseo Campense (S. Curto, *Storia del Museo Egizio*, cit., p. 53).

La Memoria dell'amico accademico Costanzo Gazzera, *Descrizione dei Monumenti Egizi del regio Museo contenenti Leggende Reali*¹⁶¹ è una significativa testimonianza della condivisione del sistema di decifrazione come dell'asserzione del ruolo non secondario da attribuire all'arte egizia rispetto a quella greca. La comunicazione del Gazzera in sede accademica data 6 maggio 1824 e precede la prima delle *Lettres* al duca di Blacas¹⁶², ma i tre mesi di colloqui e scambio di opinioni dovettero rendere comuni le esperienze sull'arte¹⁶³. Il 18 dicembre 1825 l'accademico Stefano Borson, professore di Mineralogia nell'Ateneo torinese, espone la comunicazione *Sopra i monumenti antichi Egizii in generale, e sopra alcuni del Museo in particolare, considerati come minerali*¹⁶⁴. I testi rappresentano il parallelo riconoscimento scientifico della straordinaria esperienza artistica espressa dalla civiltà faraonica da parte di due studiosi sulla base delle rispettive esperienze e, aggiungiamo, dell'Accademia delle Scienze nelle Due Classi riunite. Se pensiamo a quanto spazio abbia avuto nel secolo scorso il dibattito tra il filosofo Benedetto Croce e lo storico dell'arte, Corrado Ricci, proprio sul rapporto tra ispirazione e materiali, strumenti e tecniche per esprimerla, la posizione del Decifratore rifulge come lungimiranza e altresì quella dell'Accademia. Da questa attenzione ai materiali e alle tecniche deriva l'osservazione dello Champollion anche sulla natura della «couleur violette employée dans les bas-reliefs peints»¹⁶⁵ e l'intuizione che si tratti dei residui del processo di doratura, da cui deduce che i templi nubiani di Kalabsha e Dakka fossero dorati:

j'ai fini pour découvrir que cette couleur provenait du mordant ou mixtion appliquée sur les parties de ces tableaux qui devaient recevoir la dorure. Mais ainsi le sanctuaire de Kalabschi et la salle qui le précède ont été dorés aussi bien que le sanctuaire de Dakkèh¹⁶⁶.

¹⁶¹ La *Descrizione dei Monumenti Egizi del regio Museo contenenti Leggende Reali. Applicazione delle dottrine del Signor Champollion minore ad alcuni monumenti geroglifici del R. Museo Egizio* viene presentata il 6 maggio 1824 nell'adunanza della Classe di Scienze morali, storiche e filologiche ed è pubblicata in «Memorie della R. Accademia delle Scienze di Torino», 29, 1825, pp. 83-142.

¹⁶² Dalla corrispondenza sappiamo che Champollion ne ha terminato la stesura il 4 agosto, data della lettera nella quale comunica al fratello di aver spedito il testo (*Lettres d'Italie*, cit., pp. 32-33).

¹⁶³ *Lettres d'Italie*, cit., p. 33.

¹⁶⁴ S. Borson, *Sopra i monumenti antichi Egizii in generale, e sopra alcuni del Museo in particolare, considerati come minerali*, in «Memorie della R. Accademia delle Scienze di Torino», 31, 1827, pp. 265-294.

¹⁶⁵ *Lettres d'Égypte*, cit., p. 130.

¹⁶⁶ *Ibidem*.

Champollion connota di una valenza materica anche i colori, da cui l'interessante annotazione sul "foglietto" della tavolozza scrittoria cerimoniale del generale e "capo delle terre straniere" Djehuty: «Pierre blanche imitant parfaitement l'ivoire»¹⁶⁷. Il titolare era uno dei più alti funzionari del faraone Thutmosi III e alla sua tomba appartenevano i pregiati vasi di alabastro, che il Decifratore sicuramente esaminò nel corso del soggiorno e di cui riprodusse l'esemplare sul "foglietto" della raccolta dedicata in gran parte ad oggetti pertinenti al Regio Museo Egizio¹⁶⁸. Inoltre crediamo che sia stata proprio la "curiosità" per l'alabastro utilizzato nell'*ushabty* di Ramesse VI a determinarne il disegno sui "foglietti"¹⁶⁹. Rispetto alla cospicua quantità di questa classe di oggetti del Regio Museo Egizio, disegni completi e descrizioni, misure e testo non ne abbiamo reperito, almeno fino allo stato attuale della ricerca, sebbene non manchino citazioni di iscrizioni presumibilmente riferibili ad *ushabty*. Rozzamente abbozzato ma scolpito nell'alabastro e dipinto con il verde augurale di vita eterna, non escludiamo che la scelta possa essere stata determinata dal tipo di materiale e dal colore, elementi che come abbiamo scritto interessavano moltissimo il Decifratore. A fronte della sommaria realizzazione, un esteta¹⁷⁰ come lo era Champollion non poteva non porsi la domanda sull'uso di un tale materiale in un contesto scultoreo così povero.

Altresì nella *Descrizione* Champollion non manca di annotare «il fulgore dell'oro» sul disco solare e sui corpi degli dei Ra-Horakhty e Atum sulla stele lignea stuccata e dipinta di Patjerfy¹⁷¹.

Altre brevi considerazioni dedichiamo alla frase dello Champollion sull'arte e i suoi re: l'arte è «inséparable de celle de ses rois»¹⁷², che oltre l'annalistica, lo guida ad interpretazioni cui l'egittologia arriva per gradi. Iconografie e tipologie sono "forme" di un linguaggio stabilito a corte e in quanto «notation des

¹⁶⁷ *Papiers*, 20333/218; www.museoegizio.it, Cat. 6227, collezione online.

¹⁶⁸ *Papiers* 20382/32.39. Cat. 3255. *FRL I*, p. 440, n. 3225. Tavolozza scrittoria, vasi d'alabastro e altri oggetti del corredo dell'importante personaggio in C. Lilyquist, *The Gold Bowl naming General Djehuty: A Study of Objects and Early Egyptology*, in «Metropolitan Museum Journal», 23, 1988, p. 14 e figg. 14-16.

¹⁶⁹ *Papiers*, 20382/22-24; www.museoegizio.it, Cat. 2508, collezione online.

¹⁷⁰ Desumiamo tale qualità dagli apprezzamenti dell'arte antica nelle sue migliori realizzazioni scultoree come architettoniche, di cui le *Lettres d'Italie*, cit., offrono ampia testimonianza.

¹⁷¹ *Descrizione*, cit., p. 464. Cat. 1568 = «Turin ohne N° (Holztafel)» in H. Ranke, *Die Ägyptischen Personennamen*, I, Augustin, Glückstadt, 1935, p. 128, n. 20. *FRL I*, p. 156, n. 1935.

¹⁷² *Lettres. Première*, cit., p. 4.

idées»¹⁷³, esse divengono «une statue ne fut en réalité qu'un simple *signe*, un véritable caractère d'écriture»¹⁷⁴, concetto che le successive acquisizioni della disciplina collegano alle scuole palatine e all'uso mediatico della raffigurazione scultorea, ma bisogna attendere gli studi di Heinrich Schäfer della prima metà del secolo scorso, di Roland Tefnin del 1980 e gli attuali su stili e rapporti con le tradizioni di corte¹⁷⁵. Inoltre ci piace citare un passo dalla lettera del 30 giugno 1829 da Tebe, ove descrive la visita al tempio di Ramesse III in Medinet Habu. Nelle sale che affacciano sul secondo cortile: «L'oeil se repose sur le bel azur de plafonds ornés d'étoiles de couleur jaune doré; mais l'importance et la variété des scènes reproduites par le ciseau absorbent bientôt toute l'attention»¹⁷⁶. Sembra di leggere una pagina del Capart sul rapporto emozionale dell'arte egizia come primo passo per la conoscenza della civiltà che l'ha prodotta¹⁷⁷. Inoltre ricordiamo che il recupero dell'arte e dell'esperienza religiosa egizia a fronte del mito greco è ancora di attualità nell'ultimo dopoguerra, argomento delle conferenze dell'egittologo Henri Frankfort all'*Oriental Institute* di Chicago, che pone il peso culturale e storico delle società pre-classiche egizia e vicino orientale¹⁷⁸.

¹⁷³ *Ibidem*, p. 10.

¹⁷⁴ *Ibidem*.

¹⁷⁵ La pubblicazione di *Von ägyptischer Kunst* di H. Schäfer è del 1919 e datano dal 1979 agli anni Ottanta gli articoli di R. Tefnin, *Image et histoire. Réflexions sur l'usage documentaire de l'image égyptienne*, in «Chronique d'Égypte», 54, 1979, pp. 218-244; Id., *Image, écriture, récit. A propos des représentations égyptiennes de la bataille de Qadesh*, in «Annales d'Histoire de l'Art et Archéologie», 2, 1980, pp. 7-24; Id., *Discours et iconicité dans l'art égyptien*, in «Annales d'Histoire de l'Art et Archéologie», 5, 1983, pp. 5-17 = «Göttinger Miszellen. Beiträge zur ägyptologischen Diskussion», 79, 1984, pp. 55-72; Id., *Éléments pour une sémiologie de l'image égyptienne*, in «Chronique d'Égypte», 66, 1991, pp. 60-88. Una rivisitazione critica delle interpretazioni sull'arte egizia in M.K. Hartwig (a cura di), *A Companion to Ancient Egyptian Art*, J. Wiley & Sons Ltd., Chichester 2015 e una recensione a Ch. Riggs, *In the Shadows. The Study of Ancient Egyptian Art*, in «Orientalistische Literaturzeitung», 112 (4-5), 2017, pp. 293-300.

¹⁷⁶ *Lettres d'Égypte*, cit., p. 284.

¹⁷⁷ Classiche le sue opere: *Les Débuts de l'art en Égypte* del 1909, *Leçons sur l'art Égyptien* del 1920, i tre volumi *L'Art égyptien. Choix de Documents*. I. *Architecture* del 1922; II. *La statuaire* del 1942 e III. *Les arts graphiques* del 1942, *Pour faire aimer l'art égyptien* del 1949 e sulla sua concezione dell'importanza artistica anche delle arti industriali e decorative cfr. F. Colin, *Wilhelm Spiegelberg, Jean Capart et la collection égyptienne du Cinquantenaire. Une amitié savante entre Strasbourg et Bruxelles (I)*, in «Recollecta Aegyptiaca», 18 juillet 2020, §§ 1-20, <https://recaeg.hypotheses.org/118>.

¹⁷⁸ H. Frankfort, *The Intellectual Adventure of Ancient Man. An Essay on Speculative Thought in the Ancient Near East*, University of Chicago Press, Chicago 1946.

Aderendo in forma così anticipatoria ai concetti espressi nell'opera *Von aegyptischer Kunst* di Schäfer, Champollion riesce a qualificare correttamente la funzione "architettonica" del colosso di Sethi II, a *latere* dell'ingresso del tempio *reposoir* della barca processionale in Karnak e associato all'altro esemplare successivamente acquistato dal Louvre, rispetto al ruolo di scultura a se stante del "suo" Ramesse II. Riesce a valutare la qualità "palatina" della stele di Meru, come abbiamo anticipato e la storicità dell'arte faraonica, da non restringere a quella di età tolemaica e romana, ove distinguere quanto «vraiment d'origine égyptienne, propres à l'Égypte» e quanto, invece, frutto delle influenze successive¹⁷⁹. Tuttavia, come il Decifratore stesso scrive, nulla sarebbe stato possibile dei suoi giudizi sull'arte senza l'esperienza del Regio Museo Egizio:

Mais c'est seulement dans le Musée Royal de Turin, au milieu de cette masse de débris si variés d'une vieille civilisation, que l'histoire de l'Art égyptien m'a semblé rester encore entièrement à faire. Ici tout montre que l'on s'est trop hâté d'en juger les procédés, d'en déterminer les moyens, et surtout d'en assigner les limites¹⁸⁰.

Proseguendo l'itinerario nell'universalismo enciclopedico egizio proposto dalla *Descrizione*, all'«Histoire» e alla sua «Mémoire» seguono la Religione e le testimonianze del Culto. In questo caso la «foule»¹⁸¹ di immagini e testi non riguarda solo effigie umane. Dei, dee ed animali sacri fanno sì che «il R. Museo di Torino possiede la più ricca e la più compiuta collezione mitologica egiziana che siasi giammai veduta in Europa»¹⁸². L'arte di nuovo vi si esprime attraverso le dimensioni, i materiali, la maestria delle lavorazioni, in questo caso "ritratti", che zoologicamente riescono a riprodurre «la giusta determinazione dei generi e delle specie a cui appartengono questi animali medesimi»¹⁸³. A questa capacità interpretativa, sostenuta dalle letture naturalistiche giovanili, il Decifratore collega importanti intuizioni, destinate a divenire patrimonio della disciplina della storia delle religioni. Infatti sugli animali sacri il Decifratore così si esprime:

¹⁷⁹ *Lettres d'Italie*, cit., p. 429.

¹⁸⁰ *Lettres. Première*, cit., p. 5.

¹⁸¹ Dal lessico di Champollion.

¹⁸² *Descrizione*, cit., p. 465.

¹⁸³ *Ibidem*.

ricercati nella serie degli esseri viventi quelli le cui abitudini, e le cui qualità fisiche potevano richiamare all'animo nel modo il più vivo le qualità, e gli attributi dati a ciascuna divinità, o piuttosto a ciascheduna forma della divinità¹⁸⁴.

Senza nulla togliere alla capacità interpretativa dello Champollion, riconosciamo anche in questa impostazione razionale dell'esperienza religiosa un riferimento all'*Encyclopédie* e alle sue sezioni «Science du Dieu», «Science de l'Homme» e «Science de la Nature» nella ripartizione tematica della «Raison». Oltre le divinità e i culti degli animali sacri, la *Descrizione* non può mancare di citare oggetti di particolare valore per impegno di materiale, dimensioni e lavorazione. Al 1° posto la base di altare «di granito nero, ricoperto d'iscrizioni, e di bassi rilievi simbolici»¹⁸⁵ con dedica all'Enneade di Eliopoli e ad altri cinquanta culti che dovettero rivestire importanza notevole al tempo del dedicante, presumibilmente il Sethi II della statua colossale¹⁸⁶. In 2ª posizione abbiamo la «parte superiore intatta di un grande altare di granito nero»¹⁸⁷ devozionale del faraone Nectanebo II a culti provinciali in ordine geografico¹⁸⁸ e per questo, come specifica Champollion «pregevolissimo sia per paragonare la moderna colla mitica geografia, sia per lo studio del culto egiziano»¹⁸⁹. Seguono dal 3° al 5° posto are, vasi e pani, così descritti dal Decifratore e che presumiamo alle origini di quei particolari, predisposti per la sezione «Ustensils, Meubles, Instruments Objets d'offrande & &»:

4° Vasi sacri di ogni genere e somiglianti a quelli che sui bassi rilievi tengono fra le mani le persone che compiono riti religiosi¹⁹⁰.

Più complessa e articolata è la parte che la *Descrizione* riserva alle «cose meritevoli d'essere per un altro verso particolarmente studiate: vogliansi qui accennare quelle che si riferiscono agli usi della vita civile e domestica»¹⁹¹. L'elenco è oltremodo vario dai «tessuti di squisita finitezza: panni da vestire; una copiosa raccolta di calzari d'ogni genere», ai vasi domestici da quelli

¹⁸⁴ *Ibidem*.

¹⁸⁵ *Ibidem*.

¹⁸⁶ Cat. 1750. L. Habachi, *Tavole d'offerta*, cit., pp. 62-77, n. CGT 22053 (= Cat. 1750).

¹⁸⁷ *Descrizione*, cit., pp. 465-466.

¹⁸⁸ Cat. 1751. L. Habachi, *Tavole d'offerta*, cit., pp. 62-77, n. CGT 22055 (= Cat. 1751).

¹⁸⁹ *Descrizione*, cit., p. 466.

¹⁹⁰ *Ibidem*.

¹⁹¹ *Ibidem*.

«di semplice argilla», decorati e con «iscrizioni geroglifiche, e demotiche, ossia scritte con caratteri popolari», a quelli che di «bello alabastro orientale semitrasparente erano ordinati ad usi più nobili», ai «piccolissimi, ma di lavoro squisito» per il belletto da applicare agli occhi. Non sappiamo invece se identificare le pedine da gioco del faraone Ay¹⁹² ai rocchetti di avorio, «l'uno dei quali conserva ancora gli avanzi del filo che eglino servivano a dipanare». Ostano due elementi: la mancanza dei riferimenti alle iscrizioni sui «rocchetti», presenti invece sulle pedine e il filo, che mal si intonerebbe con le pedine da gioco. La lista prosegue con la citazione degli anelli, orecchini, collane e «le migliaia d'altri minuti ornamenti muliebri d'oro, d'argento, di bronzo, di legni preziosi e di smalto d'ogni colore; non vonno per altro trasandarsi alcuni specchi di bronzo», tra cui sicuramente l'esemplare nei *Papiers*¹⁹³. A seguire gli utensili per la scrittura, modellini e armi da guerra, cui per necessità di sintesi rimandiamo alla consultazione della tabella finale. In questo interesse per quello che oggi chiamiamo *instrumentum domesticum*, oltre l'*Encyclopédie* un ruolo dovette avere anche lo storico tedesco Arnold Heeren, le cui ricerche erano orientate sull'importanza della componente economica nello studio dell'antichità. Champollion lo cita nel *Mémoire* per promuovere la spedizione in Egitto. Infatti spiega che tra gli obiettivi della spedizione figura anche l'acquisizione di documentazione sui prodotti de «l'*industrie égyptienne*»¹⁹⁴, sul cui interesse storico precisa che si era già espresso dodici anni prima proprio Heeren «un des hommes les plus distingués de l'Allemagne»¹⁹⁵. Tale classe di materiali viene ampiamente testimoniata dalla raccolta in terra d'Egitto, in *continuum* con quanto nei *desiderata* per il Regio Museo Egizio e nel successivo allestimento della sezione egizia del Louvre.

Le tre sezioni dedicate a Storia, Religione e Vita Civile sono integrate dalla *Descrizione* con le testimonianze delle tradizioni funerarie, degli scritti su papiro e delle migliaia di scarabei e di medaglie, che a ragione dei loro contenuti non possono che essere trasversali, per i rispettivi riferimenti alla religione, alla storia e alla vita civile con la complessità delle loro attività. Nella parte

¹⁹² A.M. Donadoni Roveri, *Arte della tessitura, moda e arredo*, in A.M. Donadoni Roveri (a cura di), *Civiltà degli Egizi. Vita quotidiana*, Electa, Milano 1987, p. 204, fig. 283 (dove è interpretato come rocchetto) e H. Guichard, in V. Rondot (sous la direction de), *Champollion. La voie des hiéroglyphes*, Catalogue de l'exposition, Lens, le Louvre-Lens, 28 septembre 2022-18 janvier 2023, Éditions El Viso, Madrid-Paris-Mexico, 2022, n. 69, p. 103 (dove è interpretato come pedina da gioco). Cat. 6446. *FRL* 2, p. 253, n. 6446, che ne riporta tre e che li definisce «rocchetti».

¹⁹³ Nota 50.

¹⁹⁴ *Lettres d'Italie*, cit., p. 429.

¹⁹⁵ *Ibidem*.

dedicata alle testimonianze funerarie in prima sede è il sarcofago in basalto di Gemenefharbak, di cui abbiamo anticipato l'eccezionale ed eccellente dotazione scrittoria nel paragrafo precedente¹⁹⁶. Dal considerevole numero delle deposizioni in casse lignee viene selezionata la dotazione di Butehamon, lo Schébamon dello Champollion come abbiamo scritto e citato in precedenza in varie occasioni. Scriba reale, capo delle truppe e comandante militare, capo del tesoro del Palazzo, capo dei lavori nei templi tebani e nella necropoli, di cui aveva anche la responsabilità del bestiame, delle squadre di lavoro e delle ispezioni, Butehamon dovette essere uno dei più importanti funzionari della capitale Tebe al tempo della XXI dinastia, tanto da potersi dotare delle due «lunghissime iscrizioni di scrittura ieratica, delineate a pennello, incomincianti colle lodi del Re Amenhotep e finienti colla enumerazione delle cose offerte agli dei a favore del defunto»¹⁹⁷, vergate sul verso del coperchio della cassa interna e del falso-coperchio, chiamato così perché privo di cassa, depositato direttamente sulla mummia¹⁹⁸. Un'altra deposizione, che la *Descrizione* cita per «stupenda conservazione de' cadaveri, delle lingerie e degl'involuppi, così di legno, come di una specie di cartone fatto di tela»¹⁹⁹ è quella di Petamenofi, deceduto nel 124 d.C., al tempo dell'imperatore Adriano, che Champollion dovette retrocedere al 121, come dalla conta effettuata dei 1703 anni dalla deposizione nella cassa di legno «così intatta, e così fresca, che pare che venga or ora dalle mani del legnaiolo»²⁰⁰. Il Decifratore dovette visionare il sarcofago a ridosso del 10-11 agosto 1824, data della lettera nella quale ne scrive al fratello²⁰¹. Solo una settimana prima circa, a ridosso del 23 luglio, il Regio Museo Egizio gli aveva riservato la visione del frammento del coperchio del sarcofago di Petosiri:

couvert d'hiéroglyphes en mosaïque d'émail. Il est impossible d'imaginer rien de plus beau les couleurs sont d'une admirable variété et d'un éclat étonnant. Les becs, les têtes, les pattes de chaque oiseau sont d'émaux différents, assemblés avec tout l'art désirable les plumes des ailes sont indiquées par des détails de couleurs mélangées avec une délicatesse inconcevable²⁰².

¹⁹⁶ Nota 36.

¹⁹⁷ *Descrizione*, cit., p. 467.

¹⁹⁸ Sulla figura di Butehamon e il complesso dei suoi sarcofagi si rimanda alla nota 62.

¹⁹⁹ *Descrizione*, cit., p. 468.

²⁰⁰ *Ibidem*.

²⁰¹ *Lettres d'Italie*, cit., pp. 37-38.

²⁰² *Ibidem*, p. 32.

È ancora il naturalista oltre che l'egittologo che scrive e che nei suoi *Papiers* come nei suoi lavori grammaticali, lessicali e filologici non manca di riprodurre i geroglifici con i colori assegnatigli in antico.

Come per le stele e i calchi anche per le mummie Champollion procede numerando e apponendo lettere, come nel caso della mummia di Petamenofi, contrassegnata con la lettera D e le A, B e C delle descrizioni dei “foglietti” dal vol. 20374 o le mummie nn. 1 e 2 sempre dalla stessa raccolta²⁰³ e che ci proponiamo di valutare, come per le sigle dei calchi, nel prosieguo della ricerca. La *Descrizione* conclude la propria sintesi delle tradizioni funerarie con le «moltissime mummie di animali di varie specie», cui segue l'elenco della fauna sacra d'Egitto. Più dettagliate sono quelle «dei giovani Torelli, aventi sul fronte il segno caratteristico del Bue Apis»²⁰⁴ e dei gatti, «preparate con molta cura, e rinchiuse in piccoli sarcofagi di legno adorni di pitture, fra le quali appare specialmente l'immagine del morto animale»²⁰⁵. A questi piccoli sarcofagi con le loro mummie sono dedicati parecchi “foglietti” del volume dei *Papiers*, che abbiamo ipotizzato preparatorio del catalogo progettato per il Regio Museo Egizio e per i quali rimandiamo alla tabella finale, anticipando che proprio a questo lavoro dobbiamo l'attribuzione al Regio Museo Egizio in questa fase iniziale drovettiana la statuetta di Ptah-Sokar-Osiris del defunto Sheshonk, padre divino e sacerdote di Amon-Ra, figlio di Nesnesuttaui, anch'egli padre divino²⁰⁶.

Così come i monumenti storici sono il miglior commento alla Tavola di Abido e le testimonianze religiose il più completo repertorio mitologico esistente in Europa, così la collezione dei manoscritti su papiri rappresenta “la più importante, la più numerosa, e la più variata”²⁰⁷. Come per le altre classi di materiali, il decifratore ordina e classifica anche i “preziosi” papiri. «La prima, e la più ricca consiste in *Rituali funerari*»²⁰⁸, di cui segnala i colori dei disegni che corredano le formule funerarie: «ora neri, ora rossi e coloriti con moltissima accuratezza»²⁰⁹. Annota che oltre le divinità, testi e raffigurazioni

²⁰³ *Papiers* 20374/2, 4, 26-26, 28-29.

²⁰⁴ *Descrizione*, cit., p. 468.

²⁰⁵ *Ibidem*.

²⁰⁶ *Papiers* 20382/36. Cat. 2377. *FRL I*, p. 323, n. 2377.

²⁰⁷ *Descrizione*, cit., p. 468.

²⁰⁸ *Ibidem*.

²⁰⁹ *Ibidem*. Il nero e il rosso si riferiscono sicuramente agli inchiostri per la redazione dei testi e in rosso, l'inizio delle formule.

riportano il nome del proprietario «e della di lui madre»²¹⁰ come in effetti accade e rileva la costanza con cui è presente la scena della Psicostasia. «Una seconda classe di papiri concerne le materie religiose in generale», tra cui segnala il testo con lodi a Ramesse VI²¹¹ e le citate *Litanies des Dieux* con le invocazioni anche ad Amenhotep I e alla regina Ahmose-Nefertari. Tuttavia è «specialmente dalla terza classe di manoscritti che la storia ricava i più preziosi documenti»²¹². È la sezione di cui fanno parte «atti originali»²¹³, che si intendono pubblici, tra cui cita *in primis* il papiro con «la serie intiera degli antichi Re»²¹⁴ con i loro regni ed è il Canone Reale, noto anche come Papiro Regio, cui il decifratore avrebbe voluto dedicare una terza delle *Lettres* all'amico duca di Blacas, ma il progetto rimase irrealizzato²¹⁵. A seguire si citano i testi in geroglifico, ieratico, demotico della vita economico-sociale-amministrativa del «tempo remoto» dei faraoni, che dai tempi delle grandi conquiste giungono fino al periodo dei governi persiano e tolemaico e agli scritti in greco e copto. Rimandiamo ad un ulteriore contributo l'approfondimento di questo settore per l'importanza che riveste e che necessita di una trattazione specifica. Segnaliamo che la *Descrizione* non riporta i papiri con la mappa delle miniere d'oro, né con la pianta della tomba di Ramesse IV, né con il contenuto satirico-erotico o il lungo Libro dei Morti di Efnakh, che per questi ultimi tre integriamo con la corrispondenza²¹⁶.

L'ultima parte della *Descrizione* è riservata ai moltissimi scarabei, che i *Papiers* riportano numerosi a ragione delle incisioni dei cartigli e la «copiosa quantità di medaglie d'oro, d'argento, e di bronzo, fra le quali alcune inedite, e molte dei nomi, ossia delle provincie dell'Egitto»²¹⁷.

²¹⁰ *Ibidem*.

²¹¹ Cat. 1886, W. Pleyte e F. Rossi, *Papyrus de Turin*, cit., pp. 31-33 e pl. XXII.

²¹² *Descrizione*, cit., p. 468.

²¹³ *Ibidem*.

²¹⁴ *Ibidem*. Cat. 1874. *Lettres d'Italie*, cit., p. 87; www.museoegizio.it, Cat. 1874, collezione online.

²¹⁵ *Lettres d'Italie*, cit., p. 187.

²¹⁶ www.museoegizio.it, Cat. 1879+ 1969+ 1899, collezione online (mappa delle miniere d'oro); www.museoegizio.it, Cat. 1885, collezione online e *Lettres d'Italie*, cit., pp. 2-83 (pianta della tomba di Ramesse IV); www.museoegizio.it, Cat. 2031, collezione online (papiro erotico-satirico) e www.museoegizio.it, Cat. 1791, collezione online e *Lettres d'Italie*, cit., p. 34 (Libro dei Morti di Efnakh).

²¹⁷ Sono le monete (*5^{me} Cahyer, Medailles*), in effetti numerosissime (A. Fabretti, F. Rossi e R.V. Lanzone, *Regio Museo di Torino: monete greche e romane*, Paravia, Torino 1883), che essendo di epoca tolemaico-romana sono andate a confluire nelle collezioni numismatiche cittadine (E. D'Amicone, *Numismatica e riscoperta dell'antico Egitto. Le monete d'Egitto della*

I volti e i nomi dei Re e quelli dei loro Dei e degli animali sacri, le testimonianze della vita e del lavoro, i corpi dei defunti con le loro casse dipinte o scolpite nelle straordinarie pietre utilizzate per la vita eterna, gli oggetti del culto e i papiri con i loro testi funerari, ma anche religiosi, amministrativi e giudiziari dovettero sembrargli un'esperienza conoscitiva unica almeno in terra lontana dall'Egitto, che sarebbe stata ben presto l'altra sua fondamentale meta di lavoro nella ricostruzione del grande «tableau»²¹⁸ della civiltà faraonica.

Terminata l'esposizione sintetica del Regio Museo Egizio, la *Descrizione* così conclude:

dal colosso sino al più piccolo amuleto, tutto può somministrare preziosi documenti, ed allorché questi moltissimi monumenti di ogni genere, di ogni grandezza, e di ogni materia saranno con buon metodo classificati, il tutto insieme sarà agli occhi così de' dotti, come dei curiosi una vera Enciclopedia Egiziana²¹⁹.

Champollion non riuscì a concretizzare in catalogo questa *Enciclopedia* che vedeva così concreta nella propria mente, ma l'esperienza lasciò la profonda eredità, che dai primi passi del Regio Museo Egizio lo accompagnò fino ai primi passi della sezione egizia del Louvre, ove peraltro abbiamo reperito documentazione, da cui le riflessioni espresse nella seconda parte del contributo.

Integriamo le “resilienze” del soggiorno sabaudo dai *Papiers* con un ulteriore elenco di oggetti, frutto di una selezione basata sui temi trattati e su esemplificazioni di classi di materiali, raccolti in prospettiva di *thesauroidi* classificatori. Gli oggetti in elenco ai nn. 1 e 2 in Tabella VII sono l'ulteriore testimonianza di quei disegni “pronti alla stampa”, cui abbiamo dedicato la Tabella III; gli altri ventisette dalle sezioni «Tableaux», «Autels», «Objets de Petite Proportion» e «Statues funéraires», la «Grande stele coloriée», la stele «double» e «Titres de Défunts» sono *excerpta* da quella «foule» di nomi, personaggi, titoli, divinità protettrici, che il Decifratore voleva ricomporre in quadri di vita e lavoro, tradizioni e concezioni religiose del potere politico

collezione Drovetti: osservazioni sulle sorti della collezione, in «Bollettino di Numismatica», 24, 1995, pp. 220-222). La stessa sorte hanno subito statue drovettiane di stile greco, confluite nel Museo di Antichità: S. Curto, *Storia*, cit., pp. 33-34.

²¹⁸ Termine dal lessico di Champollion.

²¹⁹ *Descrizione*, cit., p. 469.

come dell'organizzazione sociale. Non gli rifuggono anche prospettive di stimolo a riflessioni sui problemi sociali del proprio tempo, non per una astorica riproposizione ma inserendo la conoscenza del passato in quel patrimonio di idee da cui sviluppare nuove progettualità. Il 5 ottobre 1826 scrive al Granduca di Toscana e comunica di aver terminato il catalogo della collezione Nizzoli, sebbene non nella forma che avrebbe voluto per mancanza del tempo sufficiente. Lo ringrazia per l'attenzione rivolta ai propri studi e alla civiltà egizia e si pone e pone la domanda sull'utilità della conoscenza storica applicata ai problemi del presente: «il ne sera peut-être point sans quelque importance de comparer aux formes sociales actuelles?»²²⁰. È l'egittologo che scrive, ma è anche il giovane che avverte il fermento economico, politico e sociale degli anni in cui vive²²¹ e se probabilmente non fosse stato così il Regio Museo Egizio come la sezione egizia del Louvre non sarebbero approdati all'essere una «vera Enciclopedia Egiziana».

Alla «foule» di immagini, nomi e preghiere, che avvolgeva il Decifratore ogni volta che entrava nel Regio Museo Egizio, è dedicata la selezione proposta nella Tabella VII, ove abbiamo contrassegnato con * sia gli oggetti Provv., di cui era andata perduta l'acquisizione drovettiana (nn. 14, 15 e 18) sia gli status conservativi originari, quali la non pertinenza della statuetta lignea alla base (n. 24 dell'elenco).

	<i>Papiers</i> e Oggetto	“foglietto”	Cat.	Bibliografia e annotazioni
	20323			
1	Raffigurazione del Ba Mendes dal sarcofago di Butehamon (Schébammon di Champollion)	236	2237	A. Niwinski, <i>Sarcofagi</i> , cit. pp. 31-32, fig. 95 (sul coperchio della 2 ^a cassa)
	20327			
2	Disegno “pronto alla stampa” del dio Amon, in forma di ariete su altare ²²²	135		

continua nella p. successiva

²²⁰ *Lettres d'Italie*, cit., p. 397.

²²¹ Champollion nasce nel 1790 e nel 1826 ha trentasei anni. Siamo in piena Restaurazione, ma i cambiamenti avviati dall'esperienza rivoluzionaria hanno in ogni caso cambiato *esprit* e *raison*.

²²² Disegno preparatorio in *Papiers*, 20323/237.

	20330			
3	Stele di Pay	87	1554	M. Tosi e A. Roccati, <i>Stele</i> , cit., pp. 76-77, n. CGT 50042
	20333			
	«Tableaux» Stele lignee di epoca tarda ²²³			
5	Stele del sacerdote Nesbaerged	197	1595	P. Munro, <i>Totenstelen</i> , pp. 246-247, Taf. 21, Abb. 74
6	Stele della defunta Neskonsu	199	1596	Museo egizio, Cat. 1596, collezione online
7	Stele del defunto Heribesnetef	201	1605	Museo egizio, Cat. 1605, collezione online
8	Stele del gran sacerdote Padiamenemope	202	1574	Museo egizio, Cat. 1574, collezione online
9	Stele di sacerdotessa Nestanetjeret	207-209	1599	P. Munro, <i>Totenstelen</i> , cit., p. 244; Taf. 20, Abb. 73
10	Stele di corista del dio Amon Tasheryenbastet	213-214	1637	P. Munro, <i>Totenstelen</i> , cit., p. 240. Taf. 19, Abb. 66
11	Stele di corista del dio Amon	215	1617	P. Munro, <i>Totenstelen</i> , cit., p. 223
12	Stele del defunto Irtjertjay	216	1530	Museo egizio, Cat. 1530, collezione online ²²⁴
	«Autels»			
13	Piede di altare	222	1750	L. Habachi, <i>Tavole d'offerta</i> , cit., pp. 62-77, CGT
14*	Bacile devozionale di Nebnakht	223	Suppl 6258 e 6262 ²²⁵ .	L. Habachi, <i>Tavole d'offerta</i> , cit., pp. 38-39, n. CGT 22030 (= Suppl. 6262) e pp. 39-40, CGT 22031 = Suppl. 6258) ²²⁶ .
15*	Bacile devozionale di Nakhtmin	224		
	20382			
	«Objets de Petite Proportion»			

prosegue dalla p. precedente e continua nella p. successiva

²²³ P. Munro, *Die spätägyptischen Totenstelen*, Glückstadt, Augustin, 1973, Ägyptologische Forschungen 25.

²²⁴ L'attribuzione drovettiana esclude l'acquisizione come dono del Museo del Cairo riportata nella scheda del Museo Egizio.

²²⁵ Negli inv. Schiaparelli ai nn. 6262 e 6258 corrispondono una vaschetta e un bacile in arenaria e quindi trova conferma l'attribuzione drovettiana di B. Porter e R. Moss, *Topographical Bibliography of Ancient Egyptian Hieroglyphics Texts*, I, part 2, Oxford University Press, Oxford 1964, p. 690.

²²⁶ Nota precedente.

16	Statuetta di defunto su letto funebre	17. 13	2805	Museo egizio, Cat. 2805, collezione online
17	Statuetta di Osiride addossato a pilastro in forma di obelisco	17. 14	30	Museo egizio, Cat. 30, collezione online
18*	Statuetta di Ptah-Sokar-Osiris di Sheshonk (manca la figura del dio)	36	2377 ²²⁷	<i>FRL 1</i> , p. 336, n. 2377
	«Statues funéraires»			
19	Statuetta di Patjay	38.3	3088	Museo egizio, Cat. 3088, collezione online
20	Gruppo scultoreo delle due donne Idet e Ruiu ²²⁸	39.5	3056	Museo egizio, Cat. 3056, collezione online
21	Statuetta maschile di Heriheramon ²²⁹	39.6	3087	Museo egizio, Cat. 3087, collezione online
22	Gruppo scultoreo di Maia e Takhy, dedicato dal figlio e dalla figlia	41.8	3060	Museo egizio, Cat. 3060, collezione online
23	Statuetta dedicata dal fratello Sennefer	41.9	3089	<i>FRL 1</i> , p. 424, n. 3089
24*	Base di statuetta lignea di Kaha	43	3047 ²³⁰	www.museoegizio.it, Cat. 3047, collezione online ²³¹
25	«Grande Stele colorée» di Kara e familiari	46 <i>r/v</i> , 47 <i>r/v</i> , 48 <i>r/v</i> , 49	1636	M. Tosi e A. Roccati, <i>Stele</i> , cit., pp. 47-49, n. CGT 50012

prosegue dalla p. precedente e continua nella p. successiva

²²⁷ Il “foglietto” Champollion consente di attribuire la statuetta Provv. 100 alla Drovettiana.

²²⁸ H. Ranke, *Personennamen*, cit., p. 221, 5, ove il nome è citato «Turin 180», ma il n. non trova corrispondenza in FRL, come dovrebbe rispetto alla bibliografia del Ranke, mentre per le due stele fiorentine, dove figura lo stesso nome: «Florenz Schiaparelli 1566 e 1627», i numeri corrispondono all’inventario Schiaparelli: S. Bosticco, *Le stele egiziane*, II, Istituto Poligrafico dello Stato, Roma, pp. 28-29, n. 21 (1627), pp. 29-31 (1566) e p. 71 per le corrispondenze inventariali.

²²⁹ «ḥr.i-ḥr-imn» in H. Ranke, *Personennamen*, cit., p. 252, 15, ove è riportato «Turin 214», ma con una corrispondenza numerica non reperita in FRL (nota precedente).

²³⁰ Il n. è associato alla statuetta, ma la base sembra impropria, come testimonia il “foglietto” di Champollion, che riporta la base e non la statuetta.

²³¹ Nota precedente.

27	Stele «double»	54 r/v, 55 r/v, 56 r/v, 5 r/v, 57 r/v, 58 r/v	1456	www.museoegizio.it, Cat. 1456, collezione online
«Titres de Défunts»				
28	Statua del naoforo Ken, sacerdote della dea Anukis	62 (alto)	3016	www.museoegizio.it, Cat. 3016, collezione online
29	Statua naofora dello scriba della grande casa di Amon, Mut e Khonsu	62 (basso)	3029	E. D'Amicone, <i>Guida alle sculture dello Statuario</i> , in <i>Riflessi di Pietra</i> , Electa, Milano 2005, p. 136, n. 21

TABELLA VII. Selezione delle identificazioni sulla base dei temi trattati in precedenza.

Riflessioni

Quali dunque le riflessioni dopo l'esposizione dell'universalismo enciclopedico, con cui Champollion intende accreditare i primi passi del Regio Museo Egizio?

La passione per l'Egitto, che ad esempio l'antropologo Marro considera elemento da non trascurare come motore dell'instancabile attività di ricerca del Decifratore²³², induce Champollion a trasferirsi dall'amata Grenoble all'«horrible»²³³ Parigi, dove si sente solo e soprattutto la sera la tristezza lo assale, subito allontanata dalla serenità che gli procura l'applicazione ai propri studi²³⁴. La sua decifrazione del settembre del 1822 ne determina il successivo viaggio a Torino con i tre soggiorni, di cui i *Papiers* restituiscono solo parte dell'immane lavoro documentario effettuato. Da Torino attraversa l'Italia da Nord a Sud e da Ovest ad Est, poiché fa tappa anche a Venezia, in un itinerario che non è solo egittologico, perché del Paese che lo accoglie così ospitalmente apprezza ogni cosa, dalle bellezze artistiche a quelle naturali e non ultimo anche il modo di vivere meno concitato, come il citato «dolce far niente»²³⁵. Da Torino e dall'Italia di nuovo a Parigi, con una tappa a Ginevra²³⁶ e quindi in

²³² G. Marro, *Documenti*, cit., pp. 10-12.

²³³ L. de La Brière, *Champollion inconnu*, Librairie Plon, Paris 1897, p. 50.

²³⁴ *Ibidem*.

²³⁵ Nota 102.

²³⁶ *Lettres d'Italie*, cit., pp. 359 e 389.

Egitto e poi di nuovo in Francia. Champollion è un «citoyen» dell'egittologia e questo «citoyen», che soggiorna a Torino vuol parlare in italiano e al Regio Museo Egizio si sente a casa propria come all'Accademia, che nella lettera al Gazzera a metà settembre del 1827 qualifica «notre Académie»²³⁷ e non credo solo perché entrambi accademici. Il sentimento che lo lega all'Accademia come al Regio Museo Egizio è profondo e per questo dovette essere molto addolorato per quel catalogo che avrebbe voluto redigere e cui invece dovette rinunciare. Tuttavia comprende che un ruolo potrebbe averlo avuto anche il suo essere “straniero”. In relazione al progetto di tradurre in italiano la prima delle *Lettres* al duca di Blacas così scrive al fratello il 22 settembre 1824: «c'est bien assez, déjà trop, qu'un étranger écrit le livre en question»²³⁸. Champollion è conscio del contesto nazionale in cui si trova a lavorare: «Ce serait le livret des gens du bon ton, et on trouve très convenable qu'il soit en italien, l'amour-propre national semble en effet l'exiger»²³⁹. Tuttavia anche l'edizione italiana della prima delle *Lettres* non fu realizzata²⁴⁰.

Per questo e per quanto, come abbiamo documentato, trasfuso dal Regio Museo Egizio alla sua sezione egizia del Louvre e quindi “ambasciatore” del Piemonte sabauda, direi che sarebbe auspicabile o probabilmente che non ci si possa esimere dalla formulazione di una cittadinanza onoraria, gratulatoria anche del profondo sentimento di rispetto e caloroso affetto, che il decifratore non mancò mai di esprimere per le istituzioni come per le amicizie torinesi anche con l'uso dell'italiano. Non idea mia, ma già del Marro, che esplicitando il desiderio dello Schiaparelli in apertura della relazione commissionatagli per la cerimonia di commemorazione del Centenario della decifrazione dei geroglifici a Grenoble, l'8 ottobre 1922, così si esprime:

Se un paese straniero, il quale ha dato all'uomo di genio ospitalità cordialissima nel periodo in cui era combattuto più aspramente, efficacemente sempre appoggiandolo mercé un Corpo accademico di grande fama; se questo paese il quale, sopra tutto, ha offerto all'uomo di genio mole ingente di materiale preziosissimo, di cui lo studio ha a lui consentito non solo di dare veramente corpo alla primitiva scoperta e di riuscire ad imporla per tal modo a tutto il mondo scientifico, ma di passare ancora da successiva in successiva scoperta; se un tale paese – noi ora diciamo – può ritenersi in certo qual modo compartecipe della gloria di quest'uomo, nei confronti di Champollion “le

²³⁷ *Ibidem*, p. 422.

²³⁸ *Ibidem*, p. 58.

²³⁹ *Ibidem*.

²⁴⁰ *Ibidem*, p. 170.

Jeune” questo paese è il glorioso antico Piemonte, più precisamente la città di Torino²⁴¹.

Nel Bicentenario della nascita del Regio Museo Egizio e del suo studio da parte dello Champollion dare seguito a questo invito sarebbe opera meritoria quale degna celebrazione di quanto di straordinario avvenuto tra queste mura tra il 1824 e il 1825. Peraltro il 2023 è stato il Centenario della pubblicazione del primo volume degli scavi tebani dello Schiaparelli, dedicato alla scoperta della tomba della regina Nefertari e nel 2024 ricorrono i 120 anni dalla scoperta della tomba. Champollion sarebbe stato sicuramente contento di vedere associato il proprio nome a colui che aveva riportato alla luce la sepoltura della moglie del faraone da lui più amato, quel Ramesse II, presso la cui statua è collocata la lapide a memoria del soggiorno torinese del decifratore.

3. Contrassegni inventariali e catalogazioni accademiche del Regio Museo Egizio. Elementi di una ricerca in corso

Tra il gennaio e il marzo 1832 la Giunta accademica istituita con le Regie Patenti per la riorganizzazione del patrimonio archeologico sabaudo, è in riunione per la predisposizione dei lavori²⁴². In relazione alla Drovettiana la Giunta lamenta la cancellazione delle inventariazioni apposte sugli oggetti, paventandone l'impossibile recupero nonostante tentativi di rinumerazione e ricontrollo ed addebita l'accaduto al conservatore Cordero di San Quintino, ma non ci addentriamo nella *quaestio* delle ragioni e dei torti, perché ci porterebbe troppo lontano.

Negli anni Ottanta del secolo scorso, invece, siamo nelle sale del Museo, dove da funzionaria appena assunta in ruolo inizio a documentare le diverse etichette e contrassegni numerici sugli oggetti, che sembrano attestare classificazioni iniziate ma non portate a termine. La loro presenza era stata già evidenziata dal Soprintendente, Silvio Curto, come riportato nella sua *Storia del Museo Egizio di Torino*²⁴³.

Riordinati i dati per una rivisitazione della storia del Museo egizio *in fieri*, integro quanto già scritto nel 2019 sulle corrispondenze con il *Catalogue drovettiano* con particolare riferimento ai tempi dei ripristini e a riflessioni

²⁴¹ G. Marro, *Il R. Museo di Antichità di Torino e Champollion «le Jeune»*, in «Bollettino della Società Piemontese di Archeologia e Belle Arti», VII, 1923, nn. 1-2, cit. p. 8.

²⁴² Nota 14.

²⁴³ S. Curto, *Storia del Museo Egizio*, cit., p. 121.

dovute al reperimento di tipologie di etichette affini sugli oggetti drovettiani, su opere del Fondo storico della Biblioteca dell'Accademia delle Scienze di Torino e sulle antichità egizie del Louvre al tempo dell'allestimento dello Champollion.

Analogamente alla prima parte ai fini di chiarezza abbiamo ripartito i contrassegni afferenti agli oggetti della collezione Drovetti a gruppi, che abbiamo denominato con le lettere dell'alfabeto: A, B e C. Al Gruppo A afferiscono le scritture con inchiostro di china nero direttamente sull'oggetto, da cui a titolo esemplificativo i seguenti oggetti:

- i cinque *ushabty* del gruppo di «Petites statues à gaine avec hiéroglyphes» del *Catalogue*, 3^{me} Cahyer, *Objets en Bois = Documenti inediti*, nn. 101-125²⁴⁴. Cat. 2601 (=105), Cat. 2602 (= 125), Cat. 2722 (= 106), Cat. 2535 (= 110) e Cat. 2734 (= 113);

- l'ostrakon Cat. 1522²⁴⁵ dei *Tableaux, ou Pierres sepulchrales, Tables d'offrandes, Pierres avec inscriptions, Sanctuaires, etc. etc.*, in *Catalogue*, 2^{me} Cahyer = *Documenti inediti*, n. 20;

- la tabella lignea lavorata a traforo e dipinta Cat. 2458/02 del gruppo di tre del *Catalogue*, 3^{me} Cahyer *Objets en Bois = Documenti inediti*, n. 212-214²⁴⁶.

Le modalità di riporto sembrerebbero particolarmente adatte a registrazioni eseguite senza troppe ricercatezze, funzionali a redigere quel catalogo della collezione, che per varie ragioni il Drovetti dichiarava difficile da compilare e che il Vidua e il De Forbin sollecitavano per portare a buon fine l'acquisto della raccolta da parte dei propri governi. Peraltro non mancano correzioni, di norma nelle registrazioni manuali, da cui a titolo esemplificativo le seguenti attestazioni:

- n. 209 invece che 208 sulla statuetta lignea femminile con cesta sulla testa, Cat. 3118²⁴⁷ del *Catalogue* 3^{me} Cahyer, *Objets en Bois = Documenti inediti*, n. 208: «Statue portant un vase quarré sur la tête».

- n. 235 invece che 234 sulla statuetta lignea di Ptah-Sokar-Osiris, Cat. 2467²⁴⁸ del *Catalogue* 3^{me} Cahyer, *Objets en Bois = Documenti inediti*, n. 234.

- n. 31 invece che 30 sulla stele centinata monocroma in calcare con la triade

²⁴⁴ Cat. 2601-2602, 2722, 2535 e 2734, <http://catalogo.beniculturali.it>> ArchaeologicalProperty s.v. ushabty e *FRL I.*, pp. 368, 380, 382 e 384, nn. 2601-2062, 2722, 2535 e 2734.

²⁴⁵ www.museoegizio.it, Cat. 1522, collezione online.

²⁴⁶ www.museoegizio.it, Cat. 2458/02, collezione online. Il *Catalogue* e *Documenti inediti*, che ne sono la copia (nota 13), riportano «Trois morceaux en bois travaillé à jour, représentant Osiris et Isis assis, cette dernière toujours en couleur noire», il *FRL* assegna a due il n. 2458 e al terzo il n. 2457 (*FRL I*, p. 349, nn. 2457-2458).

²⁴⁷ www.museoegizio.it, Cat. 3118, collezione online.

²⁴⁸ www.museoegizio.it, Cat. 2467, collezione online.

tebana, Cat. 1580, già descritta nella Prima Parte²⁴⁹ e in *Catalogue, 2^{me} Cahyer, Tableaux, ou Pierres sepulchrales, Tables d'offrandes, Pierres avec inscriptions, Sanctuaires, etc. etc.* = *Documenti inediti*, n. 30. Il n. 31 corrisponde alla stele con emblemi hathorici, già descritta nel precedente paragrafo²⁵⁰.

Diversamente da quanto prospettato nel citato contributo del 2019, quando il riordino degli appunti non aveva ancora evidenziato il Gruppo A, siamo propensi ad associare a questo settore l'originaria inventariazione drovettiana, facendo fede a quanto riportato dalle relazioni della Giunta accademica nel primo trimestre del 1832 sulla persistenza di alcuni numeri: «nella classe dei bronzi, ferro e piombo, che somma a 487, soli cento ancora lo conservano; pochissimi papiri hanno il numero antico; altrettanto dicasi delle altre classi»²⁵¹.

Altresì questo sistema doveva probabilmente essere di norma, come desumibile dai contrassegni inventariali riportati sugli oggetti della Collezione Salt, più o meno coeva alla Drovetti e acquistata dalla Francia nel 1826 per il Louvre²⁵². Altra modalità attestata, ma al momento non rilevata sugli oggetti Drovettiani torinesi, è quella delle etichette incollate, che le Relazioni della Giunta Accademica così citano: «ciascun oggetto è descritto in un ordine progressivo corrispondente precisamente al numero che all'oggetto era in realtà impresso, od annesso mediante tavolette di legno o di carta»²⁵³.

Tale pratica è asseverata dai contrassegni apposti sulle antichità della seconda collezione Drovetti, acquistata dalla Francia nel 1827, dato che ne confermerebbe l'esistenza anche per la prima, venduta ai Savoia²⁵⁴. Il sistema è documentato anche per altre raccolte, quali la citata Salt e quella Dunand, acquistata sempre per il Louvre due anni prima, nel 1825²⁵⁵.

Nel Gruppo B i numeri sono scritti con inchiostro di china nero sull'oggetto, ma preceduti dalla lettera N, modalità più ricercata rispetto alla precedente e presumibilmente collegata a maggiore disponibilità di tempo ed agio nell'inventariazione. Le etichette di tipo B sono state reperite su un gruppo omogeneo di stele lignee stuccate e dipinte di età tarda e greco-romana e anche in questo

²⁴⁹ Nota 155.

²⁵⁰ Nota 67.

²⁵¹ A. Fabretti, *Documenti*, cit., p. 34.

²⁵² S. Guichard et C. Bridonneau, *Numéro d'inventaire, d'entrée, de collection... État de la question*, Suppl. «Bulletin de la Société française d'égyptologie», 200, 2019, p. 2, pl. 5, 4.

²⁵³ A. Fabretti, *Documenti*, cit., p. 31.

²⁵⁴ S. Guichard et C. Bridonneau, *Numéro d'inventaire*, cit., p. 37 e pl. 9.

²⁵⁵ *Ibidem*, pp. 33 e fig. 5 (Dunand), pp. 35-36, pl. 8 (Salt).

caso i numeri corrispondono a quanto in elenco nel *Catalogue*²⁵⁶. Nel citato contributo del 2019 avevamo rilevato affinità grafiche coeve con i tempi pre- e post acquisto della Drovettiana sulla base delle lettere del Vidua, prospettando la possibile contemporaneità con la redazione del *Catalogue*²⁵⁷. Tuttavia attualmente l'esistenza del Gruppo A e quanto attestato dagli oggetti della seconda collezione Drovetti²⁵⁸ tende ad escludere questa possibilità, indirizzandoci piuttosto a considerarle un ripristino dell'inventariazione drovettiana come dalla relazione del marzo 1832 della Giunta accademica. Infatti la proposta avanzata prevede di procedere in questo modo: «numerare nelle varie sale tutti gli oggetti, che loro parevano dover appartenere alla medesima classe, e quindi confrontarne la somma con quella del Catalogo»²⁵⁹.

Integriamo le sei stele lignee contrassegnate da questa modalità con la stele della corista di Amon, Neskhonepakhered, Cat. 1598²⁶⁰, corrispondente a *Catalogue* 3^{me} Cahyer, *Objets en Bois* = *Documenti inediti*, n. 22.

Al Gruppo C abbiamo assegnato etichette circolari con bordo smerlato blu e decoro interno a cane corrente su campo bianco con numeri che corrispondono alle inventariazioni del *Catalogue* (Fig. 7, a). Il modello di etichetta è stato reperito su venti stele in calcare e integriamo l'elenco pubblicato nel 2019²⁶¹ con due attestazioni, che consentono di asserire che il tipo di riporto non è circoscritto ad una singola classe di materiali, come nel Gruppo B. Infatti figura sui seguenti due oggetti di bronzo in *Catalogue*, 1^{er} Cahyer, *Objets en bronze, en fer et en plomb* = *Documenti inediti*, nn. 379 e 59:

– statuetta di lucertola Cat. 2397= 379: «Lezard accroupi, sur piédestal en bronze»²⁶²;

– impugnatura di sistro con volto della dea Hathor, Cat. 1403, che riteniamo corrisponda al 59, anche se l'etichetta triloba sovrapposta impedisce di leggere il numero. Lo desumiamo dalla descrizione del *Catalogue*, che così riporta: «Fleur de lotus, surmonté d'une espèce de chapiteau à deux figures d'Isis et deux serpents agatho-demon»²⁶³.

I Gruppi A e B potrebbero documentare ripristini delle originarie inventariazioni

²⁵⁶ E. D'Amicone, *Corrispondenze*, cit., tabb. I-II, integrate con identificazioni sulla base di descrizioni e misure (tab. III).

²⁵⁷ *Ibidem*, pp. 122-124.

²⁵⁸ Nota 255.

²⁵⁹ A. Fabretti, *Documenti*, cit., p. 36.

²⁶⁰ www.museoegizio.it, Cat. 1598, collezione online.

²⁶¹ E. D'Amicone, *Corrispondenze*, cit., pp. 124-131 e fig. 1.

²⁶² Nota 13 e *Catalogue*, *Objets en bronze*, n. 379 e *Documenti Inediti* p. 221, n. 379.

²⁶³ Nota 13 e *Catalogue*, *Objets en bronze*, n. 59 e *Documenti Inediti*, p. 212, n. 59.

drovettiane in modalità diverse, ma coeve o da attribuire a fasi diverse? Alla legittima domanda sull'importanza assegnata ai tempi del ripristino, la risposta è quella che ricerche di questo tipo sulle "storie" degli oggetti nei musei – da quelle scientifiche come al tempo del soggiorno dello Champollion a quelle successive anche amministrative e museografiche – non mancano di esiti positivi nel recupero di dati su acquisizioni o stati conservativi pregressi, come abbiamo avuto modo di verificare nella Prima Parte.

In considerazione del maggior numero di attestazioni, ci siamo indirizzati sul Gruppo C con bordo interno a cane corrente. La ricerca di elementi chiarificatori di tempi e modi ha consentito di rilevare altre tipologie con analoga smerlatura ma decoro interno differente. In un caso la variante è stata reperita su un oggetto del Regio Museo Egizio, ma non drovettiano. È la statuetta di gatta in legno dipinto e resti di doratura sul muso, pertinente alla collezione Bussa, acquistata nel 1833²⁶⁴. Il decoro interno dell'etichetta è costituito da cerchi incatenati in sequenza, intervallati da un elemento separatore, quasi a comporre schematicamente la forma di una ghirlanda (Fig. 7, b). Altre due varianti sono state rilevate sulle etichette di inventariazione del Fondo storico della Biblioteca dell'Accademia delle Scienze. In un caso il decoro interno è a onda corrente e da una ricerca, sebbene non sistematica, risulterebbe attestato sui dorsi di volumi etichettati tra fine Settecento e inizio Ottocento²⁶⁵. Nel secondo caso abbiamo un motivo "a metopa animato" da punto centrale, documentato a ridosso degli anni Trenta, da rilevamenti sempre sul Fondo storico della biblioteca²⁶⁶ e dal recente reperimento di un manoscritto, il cui arrivo in Biblioteca si può datare al 1833-1840²⁶⁷ (Fig. 7, c-d). Altri riferimenti sono stati reperiti mentre esploravamo l'*Enciclopedia Egiziana*, che Champollion non aveva potuto ricomporre nel Regio Museo Egizio ma che attuò nella sezione egizia del Louvre. Ivi, infatti, su oggetti etichettati con il sistema della lettera dell'alfabeto, seguita da numerazione progressiva, figura il modello con decoro "a metopa animata", frutto di un tipo litografico leggermente diverso rispetto a

²⁶⁴ Cat. 2367. FRL 1, p. p. 334, n. 2367. E. D'Amicone ed E. Fontanella, *Nefer*, Palazzo Reale Milano, Federico Motta, Milano 2007, p. 90.

²⁶⁵ A titolo esemplificativo: J. Harrison, *Principes de la montre de Harrison avec les Planches relatives*, La Veuve Girard & François Seguin, Impr. Libr. Place St. Didier, Avignon 1767, «Biblioteca oltremontana», X, 1790; J. Svanberg, *Exposition des opérations faites en Laponie, pour la détermination d'un arc du méridien en 1801, 1802 et 1803*, J.P. Lindh, Stockholm 1805.

²⁶⁶ A titolo esemplificativo: «Il propagatore: ossia raccolta periodica delle cose appartenenti ai progressi dell'industria, e specialmente di quelle riguardanti l'agricoltura, le arti e la medicina / compilata dal medico Giovanni Finazzi», voll. I-III, 1824-1828 e «Giornale di agricoltura», 1832-1838, vol. 8.

²⁶⁷ L'informazione è dovuta alla responsabile della Biblioteca dell'Accademia, Elena Borgi, che si ringrazia per il prezioso supporto nel reperimento dei dati.

quello utilizzato dall'Accademia e presumibilmente coevo al modello smerlato con decoro interno a sequenze circolari “animate”, perché entrambi utilizzati da Champollion (Fig. 7, e-f). Sebbene varianti rispetto alle attestazioni drovettiane e a quelle accademiche, ne sono indubbie le affinità, difficilmente attribuibili a tempi distanti tra loro.

La smerlatura compare anche su tipologie ottagonali allungate e trilobe. Quelle ottagonali sono state reperite su edizioni del 1831 e 1845 del *Calendario Reale pe' Regii Stati* da collezione privata²⁶⁸ a conferma dell'arco cronologico del loro impiego da parte della Giunta nell'organizzazione del Regio Museo Egizio anche indipendentemente dal recupero dei contrassegni drovettiani. Infatti le numerazioni riportate non hanno riferimenti con il *Catalogue*. Esempi sono sulla citata tabella lignea Cat. 2458/02 e su un cospicuo gruppo di *ushabty*, di cui a titolo esemplificativo il Cat. 2610²⁶⁹ e i Catt. 1307, 2652, 2732, 2794, 2933²⁷⁰. Le trilobe figurano su varie categorie di oggetti, tra cui quelle di seguito selezionate: la statuetta lignea di Anubi Cat. 905²⁷¹ e i bronzetti di gatta Catt. 880, 882 e 884²⁷², che riportano sulla base moderna in legno anche tipologie ovali, decorate da una variante dei “cerchi animati” di cui *supra* e i cui numeri corrispondono alle collocazioni negli armadi e ripiani del Regio Museo, mentre i riporti su quelle trilobe smerlate non hanno ancora trovato identificazione e sono successive a quelle circolari, come attestato dall'impugnatura di sistro, precedentemente descritta:

Oggetto	Cat.	Etichetta triloba smerlata con numero associato a funzione da identificare	Ovale con variante decoro a “cerchietti animati” e n. corrispondente alla collocazione nel R. Museo
Statuetta lignea di Anubi	905	663	304
Bronzetti di gatta	880	722	285
	882	524	287
	884	530	289

TABELLA VIII. Oggetti con le due tipologie di etichette a smerlatura triloba e ovale con decoro interno, variante della sequenza del motivo a “cerchio animato”.

²⁶⁸ F. Malaguzzi, *Legature romantiche piemontesi*, Centro Studi Piemontesi, Torino 1998, pp. 88 e 104, tavv. 61 e 90.

²⁶⁹ www.museoegizio.it, Cat. 2610, collezione online.

²⁷⁰ <https://catalogo.beniculturali.it> ArchaeologicalProperty s.v. ushabti

²⁷¹ *FRL I*, p. 71 n. 905.

²⁷² *FRL I*, p. 69, nn. 880, 882 e 884.

Altresì il motivo a sequenze circolari “animate” figura su etichette ottagonali allungate non smerlate (Fig. 7 g-h), di cui l'esemplare in figura con N 585 è afferente alla «Lampe à anse et mascaron» del *Catalogue, 4^{me} Cahyer, Objets en Terre Cuite = Documenti inediti*, p. 270, n. 378. In nessuno dei due casi il numero è collegato ad inventari drovettiani o alle rispettive collocazioni in vetrine e/o ripiani del Regio Museo e la loro apposizione dovette essere successiva, ma non troppo, a quella delle etichette smerlate e per probabili ordinamenti operati a metà Ottocento al tempo della gestione accademica del Regio Museo Egizio.

Sempre la tabella Cat. 2458/02 documenta un'ulteriore etichetta ottagonale allungata, non smerlata, profilata in blu, ma decoro diverso da quelli fino ad ora citati. Riporta la scritta N 20²⁷³. La produzione dovette essere successiva alla tipologia ottagonale allungata smerlata, poiché l'*ushabty* Cat. 2880 le mostra entrambe, ma quella non smerlata è sovrapposta all'altra²⁷⁴. In entrambi i casi i numeri riportati N 423 e N 824 non sono associabili a ordinamenti attualmente individuati e non corrispondono alla collocazione, che è contraddistinta con il n. 424²⁷⁵. Ugualmente il numero N 20 sul cartellino esagonale della tabella lignea Cat. 2458/02 non corrisponde alla collocazione dell'oggetto, che dovrebbe essere 135 o 136. Quanto illustrato dimostra la complessità della restituzione della calendarizzazione oltre che dei criteri adottati nell'apposizione delle etichette, obiettivo che non sarebbe di poco conto ricostruire ai fini della conoscenza delle modalità organizzative ed espositive degli oggetti a ridosso della Direzione Fabretti nel periodo di gestione del Regio Museo Egizio da parte dell'Accademia.

Precisiamo che sono state condotte verifiche anche presso i fondi storici della Biblioteca Reale, dell'Accademia di Agricoltura e dell'Università, la cui storia avrebbe potuto consentire di reperire tipi di etichette coeve, ma nessun tipo analogo è stato rinvenuto, circostanza che dunque non può che riportarci all'Accademia. Per questo è con enorme interesse che abbiamo constatato l'uso delle produzioni circolari smerlate sulle antichità classificate da Champollion al tempo dell'allestimento della sezione egizia del Louvre e su cui insieme ai dati forniti dal Fondo storico della Biblioteca dell'Accademia abbiamo basato l'ipotesi della datazione dei ripristini dei contrassegni drovettiani su etichette circolari smerlate, non uguali, ma affini.

²⁷³ www.museoegizio.it, Cat. 2458/01, collezione online.

²⁷⁴ Cat. 2880, <http://catalogo.beniculturali.it> ArchaeologicaProperty s.v. ushabti.

²⁷⁵ *FRL I*, p. 399, n. 2880.

A conclusione di questo itinerario tra numeri scritti a penna o su etichette e tipologie smerlate e non, trilobe e ottagonali allungate e ovali, nostro più vivo desiderio sarebbe, oltre che recuperare le corrispondenze drovettiane, ricostruire status espositivi e criteri e metodi di catalogazione, studio e organizzazione scientifica e museografica della prima eccezionale raccolta di antichità egizie, approdata in Europa e a Torino al tempo della sua gestione da parte dell'Accademia delle Scienze.

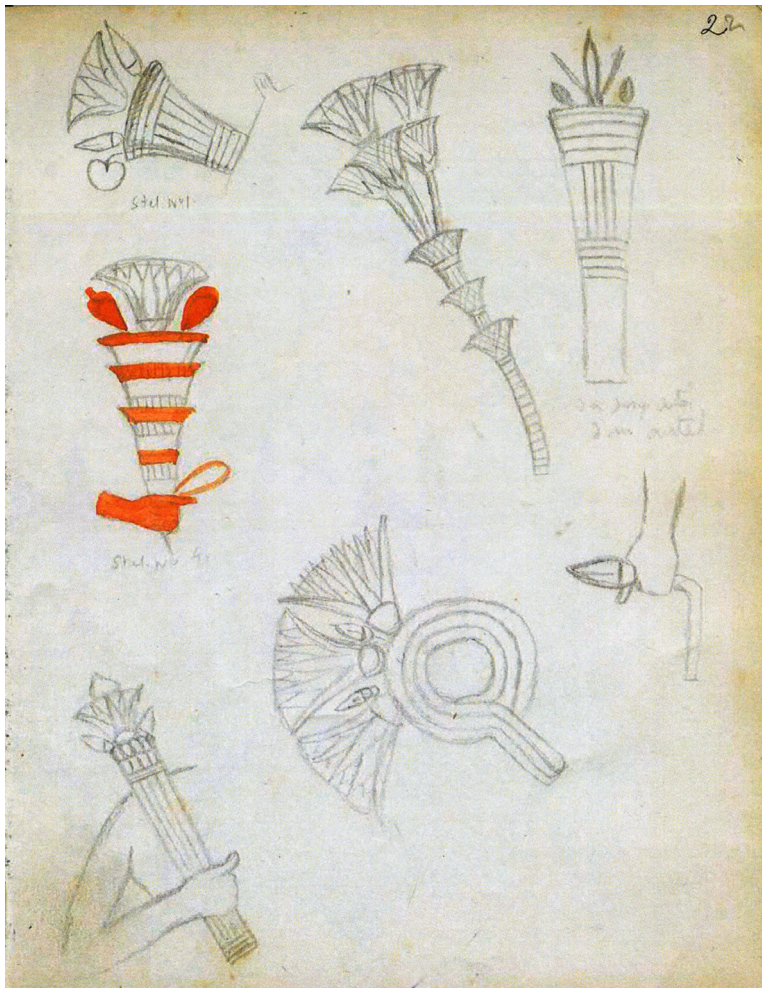


Fig. 5. Particolari di offerte floreali da stele funerarie e da un altare, *Papiers Champollion*.

Source: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b525075945/f7.item>

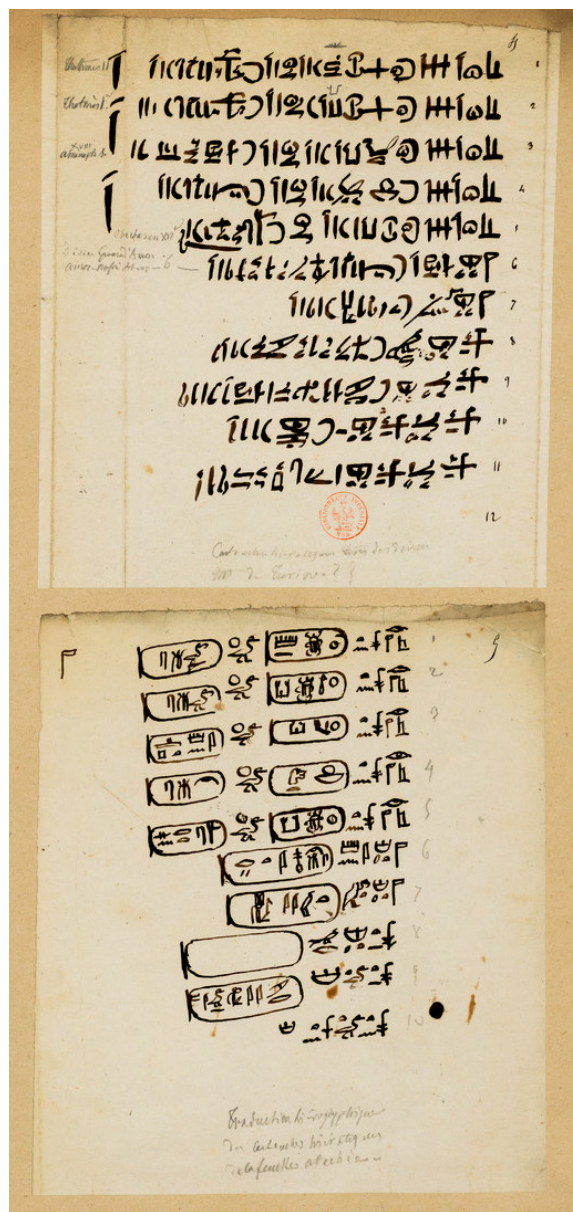
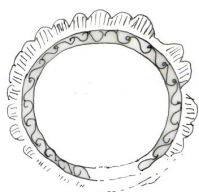
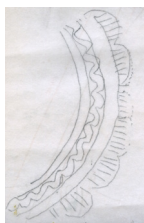


Fig. 6. Foglio di papiro con elenco di faraoni e regine divinizzati dal testo liturgico denominato dallo Champollion *Litanies des Dieux*: alle ll. 3 e 6 i cartigli di Amenhotep I e Ahmose Nefertari. Grafia ieratica in alto e trascrizione in geroglifico in basso. *Papiers Champollion*.

Source: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b525181051/f12.item>



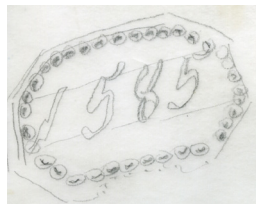
a-b. Tipi di etichette reperite sugli oggetti del Regio Museo Egizio su antichità drovettiane.



c-d. Tipi di etichette smerlate reperite sui dorsi del Fondo storico della Biblioteca dell'Accademia delle Scienze.



e-f. Tipi di etichette smerlate utilizzate da Champollion nell'ordinamento e allestimento della sua Enciclopedia Egiziana al Louvre.



g-h. Tipi di etichette smerlate con decoro interno simile a quello del modello smerlato dello Champollion, ma di formato ottagonale allungato. La n. 585 corrisponde a quella utilizzata da Champollion nell'ordinamento e allestimento della sua «Enciclopedia Egiziana» al Louvre.

Fig. 7. Tipi di etichette.

Croquis dell'autrice.

INDICI

I contributi pubblicati nelle «Memorie» e negli «Atti» dell'Accademia delle Scienze di Torino sono classificati in base al seguente elenco di materie:

CLASSE DI SCIENZE FISICHE, MATEMATICHE E NATURALI

Biologia animale e dell'uomo
Biologia vegetale
Chimica
Fisica
Geoscienze
Matematica
Scienza dell'informazione
Scienza dell'ingegneria
Scienze dell'ambiente
Scienze e ingegneria dei materiali
Storia delle scienze

CLASSE DI SCIENZE MORALI, STORICHE E FILOLOGICHE

Archeologia, Epigrafia e Numismatica
Bibliografia
Biografie e Commemorazioni
Diritto e Storia del Diritto
Economia Politica
Filologia e Linguistica
Filologia Orientale
Filologia, Glottologia, Storia Letteraria del Medio Evo e dell'Età Moderna
Filologia, Glottologia, Storia Letteraria dell'Antichità Classica
Filosofia e Storia della Filosofia
Geografia
Paleografia e Diplomatica
Pedagogia
Storia Antica
Storia dell'Arte
Storia Contemporanea
Storia Medievale e Moderna

INDICE DELLE MATERIE

VI serie

ARCHEOLOGIA, EPIGRAFIA E NUMISMATICA

- Vol. 2: *L'Accademia delle Scienze di Torino e i primi passi del Regio Museo Egiziano*, di Elvira D'Amicone. 113

DIRITTO E STORIA DEL DIRITTO

- Vol. 2: *Mezzo secolo di informatica giuridica in Italia: dai codici a Internet. Una rievocazione soprattutto bio-bibliografica*, di Mario G. Losano . . 85

GEOSCIENZE

- Vol. 1: *Mappatura di un territorio per il rischio di liquefazione sismo-indotta dei terreni a diverse scale geografiche*, di Carlo Giovanni Lai . 53

SCIENZA DELL'INGEGNERIA

- Vol. 1: *The Scattering by an Half-Plane Embedded in Stratified Media. Network Methods: Electromagnetics vs Elasticity*, di Vito Daniele e Rodolfo Zich 5

- Vol. 1: *Multilayered Beam, Plate and Shell Theories with Interlaminar Variables and Lagrange Polynomials*, di Erasmo Carrera, Riccardo Augello e Daniele Scano 99

- Vol. 2: *Structural and Seismic Monitoring of Historical and Contemporary Buildings: General Principles and Applications*, di Rosario Ceravolo . 25

SCIENZA DELL'INFORMAZIONE

- Vol. 2: *"Cybersecurity" per "Internet of Things" e infrastrutture critiche*, di Edoardo Calia, Marco Mezzalama e Andrea Vesco 5

STORIA MEDIEVALE E MODERNA

- Vol. 1: *La «Revue Encyclopédique» (1819-1835): biografia di una rivista fra tre rivoluzioni*, di Alessandra Foresto Lo Piano 137

INDICE

CLASSE DI SCIENZE FISICHE, MATEMATICHE E NATURALI

“Cybersecurity” per “Internet of Things” e infrastrutture critiche, di Edoardo Calia, Marco Mezzalama e Andrea Vesco 5

Structural and Seismic Monitoring of Historical and Contemporary Buildings: General Principles and Applications, di Rosario Ceravolo. . 25

CLASSE DI SCIENZE MORALI, STORICHE E FILOLOGICHE

Mezzo secolo di informatica giuridica in Italia: dai codici a Internet. Una rievocazione soprattutto bio-bibliografica, di Mario G. Losano 85

L'Accademia delle Scienze di Torino e i primi passi del Regio Museo Egiziano, di Elvira D'Amicone 113

Indice delle materie 175

Anno di fondazione della rivista: 1759
Direttore responsabile: Massimo Mori
Iscrizione al R.O.C. n. 2037 del 30/6/2001
Autorizzazione del Tribunale di Torino, Registro Stampa n. 73/2018 (già 2685/1977)
Variazione di titolo disposta dal Tribunale di Torino in data 3/4/2023
VI serie: inizia con il vol. 1/2022, relativo all'a.a. 2021-22 e uscito nel 2023
Tiratura: 250
Stampa interni su carta patinata opaca da 115g
prodotta nel pieno rispetto del patrimonio boschivo

Finito di stampare nel maggio 2024
da Ledizioni – Milano